

Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**ANÁLISE PARAMÉTRICA DO DESEMPENHO
TERMO-ENERGÉTICO
DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia

LUIZ ANGELO SOBREIRO BULLA

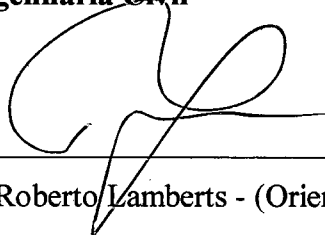
Florianópolis
Novembro de 1995

**ANÁLISE PARAMÉTRICA DO DESEMPENHO
TERMO-ENERGÉTICO
DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS**

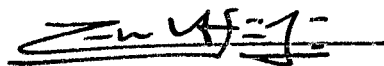
Luiz Angelo Sobreiro Bulla

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Especialidade **Engenharia Civil** e aprovada em sua forma final pelo programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil



Roberto Lamberts - (Orientador)



Carlos Szücs - (Coordenador do Curso)

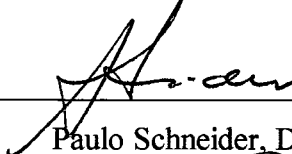
Banca Examinadora



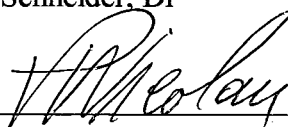
Roberto Lamberts, PhD - (Presidente)



Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD



Paulo Schneider, Dr



Vicente de Paulo Nicolau, Dr

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não seria possível sem a ajuda das seguintes pessoas e instituições:

- Roberto Lamberts - pela orientação do trabalho e incentivo.
- Fernando O. R. Pereira - pela participação na banca.
- Paulo Schneider - pela participação na banca.
- Vicente de Paulo Nicolau - pela participação na banca
- Luis Gomez - pelos esclarecimentos e auxílio na utilização do software.
- Marcos B. de Souza - pelo companheirismo e auxílio na realização do trabalho.
- Márcia, minha esposa - pelo companheirismo, compreensão e dedicação.
- A minha família - pela compreensão e sacrifícios
- Fundação Universidade do Rio Grande - pela oportunidade e recursos financeiros
- CAPES - pela bolsa de estudos fornecida durante o curso

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	v
Lista de Tabelas.....	viii
Resumo	ix
Abstract	x
Capítulo 1 - Introdução.....	1
1.1 - Introdução	2
1.2 - Consumo de Energia Elétrica por Setores.....	2
1.3 - Tipo de Energia Utilizada no Setor Comercial	3
1.4 - Consumo de Energia Elétrica em Edifícios Comerciais	4
1.5 - Objetivos.....	4
1.6 - Metodologia.....	4
1.7 - Estrutura da Dissertação	5
Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica.....	7
2.1 - Introdução	8
2.2 - As Normas ASHRAE 90-75 e ASHRAE 90A-1980	8
2.3 - Histórico do OTTV.....	11
2.3.1 - Equação Original do OTTV da ASHRAE 90-75.....	12
2.3.2 - Limitações da Metodologia do OTTV	14
2.4 - Proposta de Norma para a Austrália	15
2.5 - Proposta de Norma para os estados Unidos.....	16
2.6 - A Norma ASHRAE 90.1-1989	18
2.7 - A Versão Codificada da Norma ASHRAE/IES 90.1-1989	19
2.8 - O Programa Simulador DOE-2.1E	22
2.8.1 - Processo de Simulação do DOE-2.1E.....	23

2.9 - Arquivo de Dados Climáticos.....	25
2.10 - Análise Paramétrica de Edifícios Comerciais.....	27
Capítulo 3 - Descrição do Edifício de Escritórios.....	36
3.1 - Introdução	37
3.2 - Descrição do Edifício Típico	37
3.2.1 - Características Construtivas do Edifício.....	39
3.3 - Parâmetros da Envolvente do Edifício	39
3.4 - Padrões de Uso e Ocupação do Edifício	41
3.4.1 - Padrão de Uso do Edifício.....	41
3.4.2 - Padrão de Uso da Iluminação	42
3.4.3 - Padrão de Uso da Iluminação de Tarefa.....	43
3.4.4 - Padrão de Uso de Equipamentos de Escritório.....	44
3.4.5 - Taxa de Infiltração	45
3.4.6 - Padrão de Funcionamento dos Equipamentos de Ar Condicionado	46
3.4.7 - Renovação de Ar.....	48
3.4.8 - Potência dos Equipamentos do Programa de Simulação.....	48
3.5 - Simulando o Edifício Caso Base.....	49
3.5.1 - Influência da Potência de Iluminação no Consumo de Energia do Caso Base .	50
3.5.2 - Influência do Número de Trocas de Ar por Infiltração no Consumo de Energia do Caso Base.....	52
3.5.3 - Influência do Número de Renovações de Ar no Consumo de Energia do Caso Base	53
3.5.4 - Influência da Orientação da Fachada Principal do Edifício no Consumo de Energia do Caso Base.....	53
3.6 - Conclusões.....	54
Capítulo 4 - Simulações Paramétricas.....	56
4.1 - Introdução	57
4.2 - Influência do Tamanho das Janelas (WWR) e do Coeficiente de Sombreamento (SC) no Consumo de Energia do Edifício.....	58

4.3 - Influência do Tamanho das Janelas (WWR) e do Coeficiente de Sombreamento (SC) nas Cargas Térmicas de Resfriamento do Edifício	63
4.4 - Influência da Absortividade (α_w) das Paredes no Consumo de Energia do Edifício	66
4.5 - Influência da Absortividade das Paredes na Carga Térmica de Resfriamento do Edifício	67
4.6- Influência da Transmitância Térmica das Paredes no Consumo de Energia do Edifício	68
4.7- Influência da Transmitância Térmica das Paredes na Carga Térmica de Resfriamento do Edifício	69
4.8 - Influência da Transmitância Térmica do Telhado no Consumo de Energia do Edifício	70
4.9 - Influência da Absortividade do Telhado no Consumo de Energia do Edifício	71
4.10 - Uma Análise da Influência do Telhado no Consumo de Energia em Edifícios Térreos.....	72
4.11 - Conclusões.....	73
Capítulo 5 - Conclusões.....	75
Referências Bibliográficas.....	78

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

1.1 - Crescimento do Consumo de Energia Elétrica por Setores.....	3
1.2 - Fontes de Energia Utilizadas no Setor Comercial.....	3

CAPÍTULO 2

2.1 - Estrutura do Programa DOE-2.1E.....	24
2.2 - Classificação dos Parâmetros de Entrada.....	28

CAPÍTULO 3

3.1 - Pavimento Típico Simplificado	38
3.2 - Visualização do Edifício Típico	38
3.3 (a) - “Schedule” de Ocupação do Edifício nos Dias de Semana	41
3.3 (b) - “Schedule” de Ocupação do Edifício no Sábado.....	42
3.4 (a) - “Schedule” de Uso da Iluminação de Teto nos Dias de Semana.....	42
3.4 (b) - “Schedule” de Uso da Iluminação de Teto no Sábado	43
3.5 (a) - “Schedule” de Uso da Iluminação de Tarefa nos Dias de Semana	43
3.5 (b) - “Schedule” de Uso da Iluminação de Tarefa no Sábado.....	43
3.6 (a) - “Schedule” de Uso dos Equipamentos de Escritório nos Dias de Semana	44
3.6 (b) - “Schedule” de Uso dos Equipamentos de Escritório no Sábado.....	45
3.7 (a) - Taxas de Infiltração de Ar nos Dias de Semana	45
3.7 (b) - Taxas de Infiltração de Ar no Sábado.....	46
3.8 (a) - “Setpoints” do Termostato para o Modo de Resfriamento nos Dias de Semana ..	47
3.8 (b) - “Setpoints” do Termostato para o modo de Resfriamento no Sábado	47

3.9 (a) - “Setpoints” do Termostato para o Modo de Aquecimento nos Dias de Semana..	47
3.9 (b) - “Setpoints” do Termostato para o Modo de Aquecimento no Sábado	48
3.10 - Variação Percentual da Potência de Iluminação no Consumo de Energia do Caso Base	51
3.11 - Influência da Potência de Iluminação na Carga Térmica de Resfriamento do Caso Base	51
3.12 - Influência do Número de Trocas de Ar por Infiltração no Consumo Final de Energia do Caso Base.....	52
3.13 - Influência do Volume de Ar de Renovação no Consumo Total de Energia do Caso Base	53
3.14 - Influência da Orientação do Edifício no Consumo Total de Energia do Caso Base .	54

CAPÍTULO 4

4.1 - Variação do Consumo de Energia em Função da Variação do Tamanho das Janelas	58
4.2 - Variação Percentual do Consumo de Energia em Função do Tamanho das Janelas Comparação com o Caso Base - Fachada Norte.....	59
4.3 - Variação Percentual do Consumo de Energia em Função do Tamanho das Janelas Comparação com o Caso Base - Fachada Leste	60
4.4 - Variação do Consumo de Energia em Função da Variação do Coeficiente de Sombreamento	61
4.5 - Variação Percentual do Consumo de Energia em Função do Coeficiente de Sombreamento - Comparação com o Caso Base - Fachada Norte	61
4.6 - Variação Percentual do Consumo de Energia em Função do Coeficiente de Sombreamento - Comparação com o Caso Base - Fachada Leste.....	62
4.7 - Variação Percentual das Cargas Térmicas de Resfriamento em Função do Tamanho das Janelas - Comparação com o Caso Base - Fachada Norte	63
4.8 - Variação Percentual das Cargas Térmicas de Resfriamento em Função do Tamanho das Janelas - Comparação com o Caso Base - Fachada Leste.....	64
4.9 - Variação Percentual das Cargas de Resfriamento em Função do Coeficiente de Sombreamento - Comparação com o Caso Base - Fachada Norte	65
4.10 - Variação Percentual das Cargas de Resfriamento em Função do Coeficiente de Sombreamento - Comparação com o Caso Base - Fachada Leste.....	65

4.11 - Variação Percentual do Consumo de Energia em Função da Absortividade das Paredes	66
4.12 - Variação Percentual da Carga Térmica de Resfriamento em Função da Absortividade das Paredes	67
4.13 - Variação Percentual do Consumo de Energia em Função da Transmitância Térmica das Paredes	68
4.14 - Variação Percentual da Carga de Resfriamento em Função da Transmitância Térmica das Paredes	69
4.15 - Variação Percentual do Consumo de Energia em Função da Transmitância Térmica do Telhado - Comparação com o Caso Base.....	70
4.16 - Variação Percentual do Consumo de Energia em Função da Absortividade do Telhado	71
4.17 - Variação Percentual do Consumo de Energia em Função da Transmitância Térmica e da Absortividade do Telhado	72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

3.1 - Valores de Transmitância Térmica dos Elementos da Envolvente do Edifício.....	39
3.2 - Parâmetros da Envolvente do Edifício. Valores Máximos, Mínimos e do Caso Base	40
3.3 - Percentual da Potência dos Equipamentos em Funcionamento	45
3.4 - Cargas Anuais de Resfriamento e Aquecimento do Edifício	49
3.5 - Desempenho Energético do Edifício	50

CAPÍTULO 4

4.1 - Valores de WWR em Função do Coeficiente de Sombreamento da Abertura, da Absortividade das Paredes e da Orientação da Fachada Principal.....	73
4.2 - Valores de Coeficiente de Sombreamento da Abertura em Função de WWR, da Absortividade das Paredes e da Orientação da Fachada Principal.....	74

RESUMO

Esta dissertação tem por finalidade selecionar parâmetros para avaliação do desempenho energético da envolvente de edifícios comerciais para a cidade de Florianópolis.

Os parâmetros a serem trabalhados são obtidos a partir da definição da forma do edifício típico e dos materiais usados na construção do mesmo. São eles: coeficiente de sombreamento das janelas, razão entre áreas de janelas e paredes, absorvidade das paredes e telhado e transmitância térmica das paredes e telhado. Para analisar estes parâmetros com precisão aceitável foram usados três elementos fundamentais:

- uma ferramenta simuladora confiável, para analisar o desempenho térmico e energético do edifício. Para isto foi utilizado o programa DOE-2.1E (LBL - 1993).

- um arquivo de dados climáticos horários compatíveis com a ferramenta simuladora, para um período de um ano, no formato TRY, para a cidade de Florianópolis.

- um modelo simplificado para o edifício típico (caso base), o qual representa a prática construtiva da região em estudo. O edifício se caracteriza como sendo de utilização comercial.

São apresentados os resultados das simulações paramétricas, a partir dos quais pode ser feita uma análise do consumo de energia em função de alterações feitas nos elementos da envolvente. A variação no consumo de energia em função da variação do tamanho das janelas e da variação do coeficiente de sombreamento atingiu a 13%. A transmitância térmica das paredes teve pouca influência, alterando em apenas 0,5% o consumo total de energia do edifício. Quanto à orientação da fachada principal (com janelas), observou-se uma variação de 5% no consumo de energia do edifício quando esta foi modificada de norte para leste.

Os resultados obtidos servem como base para auxiliar engenheiros e arquitetos na tomada de decisões para a elaboração de projetos mais eficientes quanto ao consumo de energia, relacionados à envolvente do edifício.

ABSTRACT

The aim of this study is to establish the parameters to be used in the evaluation of the energy performance of commercial building in Florianópolis.

The parameters studied were chosen from the definition of a typical building and the materials used in it. The parameters are: shading coefficient, window wall ratio, solar absorptivity of walls and roof and thermal transmittance of wall and roof. To analyse these parameters it was necessary to use:

- a simulation tool to analyse the energy performance of the building. DOE-2.1E computer program was used.

- TRY weather data for Florianópolis

- a typical office building

The results of parametric simulations are shown.

Window size and shading coefficients are shown to have the greatest influence - up to 13%. The thermal transmittance has little influence - around 0,5% of total energy consumption of the building. Building orientation shown a variation of up to 5% in total energy consumption when varied from north to east.

The results are useful to help designers to make building more energy efficient, as far as the envelope is concerned.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - Introdução

A técnica de projetar e construir não é uma técnica nova. O homem desenvolveu características de adaptação às mais variadas condições climáticas, sobrevivendo em praticamente todas as localidades do globo terrestre. Citando como exemplos os climas quente e seco dos desertos, quente e úmido das florestas tropicais, frio e seco característico das regiões polares, entre outros. Antes do surgimento do condicionador de ar, as técnicas construtivas variavam de acordo com o clima local, usavam-se os recursos disponíveis na região, com a finalidade de proporcionar condições de conforto ambiental favoráveis à vida.

Nas últimas décadas, após o surgimento do ar condicionado, nota-se uma tendência construtiva que utiliza como principal elemento de fechamento dos espaços, grandes painéis envidraçados, principalmente em grandes edifícios comerciais. Para cada edifício com estas características, instala-se poderosos equipamentos de ar condicionado que garantem condições de uso favoráveis ao ambiente, sem levar em consideração o elevado custo operacional de tais equipamentos. Com a crise mundial do petróleo na década de setenta, as nações industrializadas passaram a repensar suas estratégias de crescimento econômico, adotando medidas de conservação de energia no setor da construção civil, tendo como objetivo diminuir custos operacionais e de manutenção.

Pelo fato dos edifícios comerciais representarem uma parcela significativa no consumo de eletricidade de cada região, são estes, sem dúvida, um alvo importante a ser trabalhado, com o objetivo de aumentar a eficiência energética dos mesmos. Neste sentido, o sistema envolvente do edifício pode sofrer modificações em seus elementos a fim de que alcance um desempenho térmico energético satisfatório, sem elevar em demasia os custos da construção, ou seja, que se obtenha uma relação custo benefício satisfatória.

1.2 - Consumo de Energia Elétrica por Setores

De acordo com o Balanço Energético Nacional (1993), o consumo de energia elétrica em edifícios dos setores comercial, público, residencial, industrial e outros, teve um crescimento significativo, conforme mostrado na Figura 1.1.

Apesar do setor industrial ser responsável por 50% do consumo de energia, é importante destacar que este está diretamente relacionado ao sistema produtivo e não à

edificação.

Considerando que os setores comercial e público possuem as mesmas características de consumo, nota-se que estes foram responsáveis por 18,8% do consumo total de energia no ano de 1992. Este consumo está ligado diretamente à edificação, ou seja, às suas características arquitetônicas e de utilização. Desta maneira, destaca-se a importância da adoção de medidas de conservação de energia elétrica neste tipo de edifício.

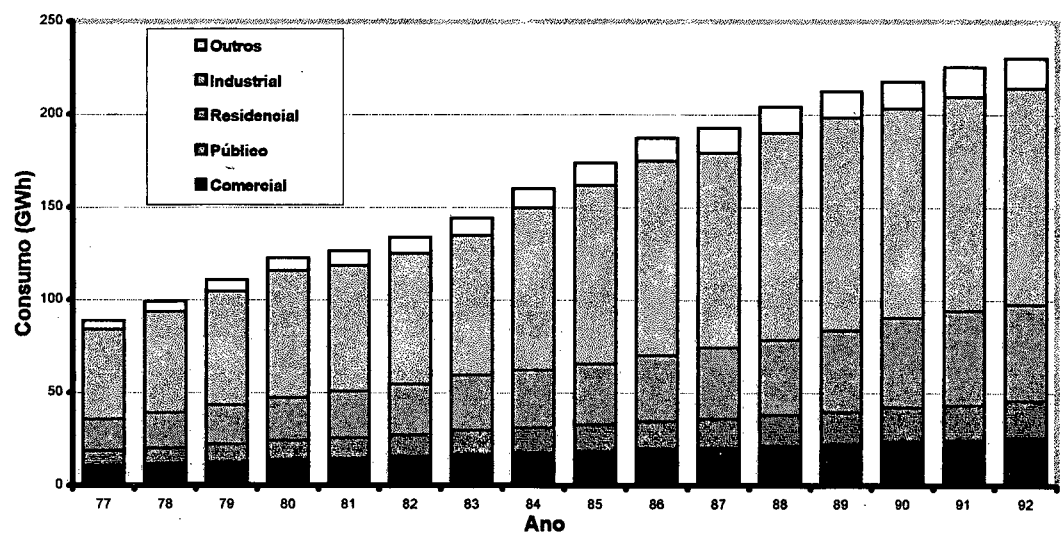


Figura 1.1 - Crescimento do consumo de energia elétrica por setores

1.3 - Tipo de Energia Utilizada no Setor Comercial

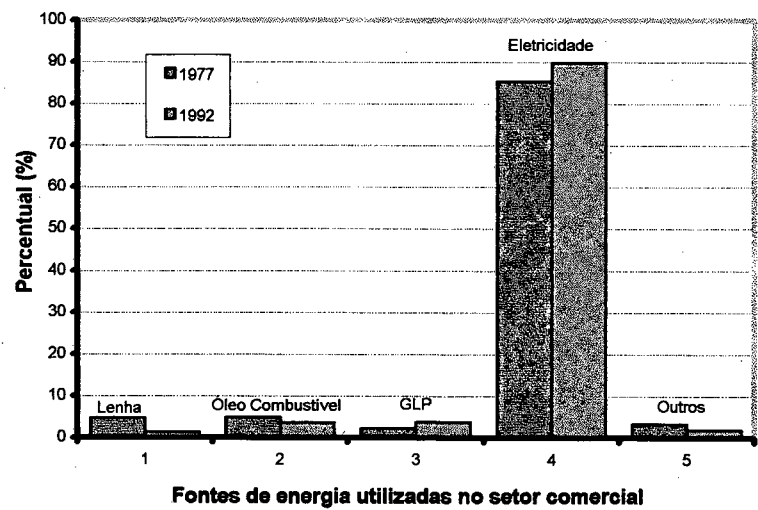


Figura 1.2: Fontes de energia utilizadas no setor comercial

No setor comercial, a energia elétrica é a modalidade predominante para uso final no edifício. Na Figura 1.2 é mostrado a participação de cada forma de energia utilizada em edifícios do setor comercial. Nota-se que o consumo de eletricidade está em torno de 90% da energia totalmente consumida.

1.4 - Consumo de Energia Elétrica em Edifícios Comerciais

O consumo de energia elétrica em edifícios comerciais pode ser atribuído a alguns elementos principais como a iluminação e os equipamentos e sistemas de ar condicionado.

Existe uma grande capacidade de racionalização de energia em cada um desses itens. De acordo com o **PROCEL - 1991**, a iluminação é responsável por aproximadamente 24% do consumo de energia elétrica e o sistema e equipamentos de ar condicionado consomem em torno de 48% do total consumido. Estes valores podem ser modificados se medidas racionalizadoras forem adotadas, como por exemplo, a utilização da luz natural, a previsão de dispositivos de controle do sistema de iluminação artificial, a escolha de equipamentos de ar condicionado mais eficientes e melhor dimensionados, o uso de materiais e técnicas de construção adequados à região, etc. Estas medidas podem ser implementadas ainda na fase de projeto do edifício. É importante salientar que com a construção de edifícios com envoltivo que venha a diminuir o fluxo de calor, haverá uma redução nas cargas de resfriamento ou aquecimento a serem retiradas ou adicionadas pelo sistema de ar condicionado.

1.5 - Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo parametrizar o desempenho termo-energético em função da envoltivo de edifícios comerciais para a cidade de Florianópolis, que possam ser adotados como referência para a implantação de normas de eficiência energética para o Brasil.

1.6 - Metodologia

Através da definição das características construtivas e de utilização do edifício típico (caso base), pode-se iniciar o estudo comparativo de desempenho termo-energético do modelo

proposto com outras alternativas de projeto.

A configuração da envolvente que apresente um melhor desempenho termo-energético é obtida através de análises paramétricas, desenvolvidas com o auxílio do programa de simulação energética DOE-2.1E (LBL - 1993). Os parâmetros da envolvente do edifício como coeficiente de sombreamento (SC), razão entre áreas janela/parede (WWR), transmitância térmica da parede (U_w), transmitância térmica do telhado (U_R), absortividade da parede (α_w) e absortividade do telhado (α_R), são variados um de cada vez dentro de intervalos preestabelecidos a fim de verificar sua influência isolada no desempenho do sistema envolvente. Através das simulações paramétricas, pode-se determinar que parâmetros apresentam maior influência no desempenho energético do edifício.

Este procedimento tanto pode ser aplicado na fase de projeto de novos edifícios, como também na verificação da relação custo-benefício de alternativas de “retrofit” para que edifícios já existentes possam ser adaptados a uma nova realidade de consumo de energia.

1.7 - Estrutura da Dissertação

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica, onde foram vistas algumas normas e códigos de eficiência energética da envolvente de edifícios comerciais. Foi feita uma descrição sucinta do programa simulador DOE-2.1E e também do arquivo de dados climáticos do tipo TRY usado por este programa. Estudos envolvendo simulações paramétricas usando o programa DOE-2.1E para verificação de fatores de projeto relacionados à energia são apresentados.

O Capítulo 3 apresenta a descrição do edifício comercial típico usado nas simulações. São mostradas as composições dos elementos da envolvente do edifício com seus respectivos valores de transmitância térmica. Os parâmetros da envolvente do edifício utilizados nas simulações paramétricas são apresentados com seus valores máximos e mínimos, bem como os valores usados no edifício caso base. Os padrões de uso e ocupação do edifício são visualizados através de gráficos. É mostrado também a influência de alguns fatores, que não foram variados nas simulações paramétricas, no consumo total de energia do edifício.

Os resultados das simulações paramétricas e a comparação com o Caso Base, são expostos no Capítulo 4. É analisada a influência dos parâmetros relacionados com a envolvente do edifício, no consumo de energia e nas cargas de resfriamento. As variações ocorridas no

consumo de energia e na carga térmica de resfriamento são apresentadas na forma de gráficos.

No último Capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, assim como propostas para a continuidade do mesmo em estudos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Introdução

Apresenta-se a seguir alguns critérios de avaliação do desempenho térmico e energético da envolvente de edifícios comerciais, tais como o da Norma **ASHRAE/IES 90.1-1989** e suas versões anteriores (75 e 80). São apresentadas também algumas normas e códigos de eficiência energética como as dos países do sudeste asiático (Singapura, Filipinas, Malásia e outros), os quais adotaram a metodologia do OTTV para estimar a eficiência da envolvente dos edifícios. Um rápido comentário a respeito da proposta de norma para a Austrália também é mostrado. Além destas, destacam-se ainda as normas dos Estados Americanos e a versão codificada da Norma **ASHRAE/IES 90.1-1989**.

A simulação energética em edifícios comerciais é destacada aqui como sendo a maneira mais importante de se chegar a um projeto eficiente em termos de consumo de energia. Levando-se em conta a inviabilidade de execução de cálculos manuais para este tipo de procedimento, é apresentado o programa DOE-2.1E como ferramenta que executa simulações horárias de desempenho energético do edifício para um período de até 1 ano. Para isso se faz necessário a utilização de um arquivo de dados climáticos que contenha as variáveis climáticas em intervalos horários de 1 ano típico no modelo TRY. São apresentados alguns trabalhos que utilizaram simulações paramétricas através do programa DOE-2 para verificar os fatores de projeto relacionados à energia e também analisar a viabilidade econômica de se adotar certas medidas conservativas.

2.2 - As Normas ASHRAE 90-1975 e 90A-1980

A Norma **ASHRAE 90-1975** apresenta como principal objetivo estabelecer exigências de projeto que venham a melhorar o uso de energia em novos edifícios e também para fornecer meios de determinar de forma antecipada, o impacto causado pelo uso desta energia.

As exigências apresentadas nesta norma são direcionadas aos seguintes itens:

- ao projeto da envolvente do edifício, com a finalidade de que a mesma apresente uma resistência térmica adequada e baixa taxa de infiltração de ar;
- ao projeto e seleção de equipamentos e sistemas mecânicos e elétricos tais como ar condicionado, iluminação e aquecimento de água.

A Norma **ASHRAE 90-1975** é flexível quando permite que projetistas sejam incentivados a usar técnicas e abordagens inovadoras para alcançar uma utilização mais eficiente da energia. Isto pode ser atribuído ao uso de soluções alternativas de projeto.

Na Seção 4 da Norma, são analisados os critérios relacionados à envolvente externa do edifício, estabelecendo exigências mínimas quanto ao desempenho térmico desta, visando a conservação de energia. Estes critérios são aplicados em função do tipo de edifício. A Norma faz uma classificação dos edifícios quanto ao uso e número de pavimentos, classificando-os em edifícios do tipo “A” e do tipo “B”.

São classificados como edifícios do tipo “A”:

- casas para moradia para uma ou duas famílias separadas (casas geminadas);
- edifícios residenciais com 3 pavimentos ou menos;
- hotéis e motéis com 3 pavimentos ou menos.

Como edifícios do tipo “B”, são considerados todos os outros edifícios não incluídos na definição de edifício do tipo “A”.

Para os edifícios do tipo “A”, são apresentados os critérios de aquecimento e resfriamento para os sistemas parede e telhado separadamente.

Com relação às paredes, a Norma diz que “qualquer edifício que seja aquecido ou resfriado mecanicamente, deve ter um valor de transmitância térmica (U_0) para a área total da parede externa, que não exceda os valores de graus dia de aquecimento, que vem a ser uma unidade baseada na diferença de temperatura e no tempo, usada para estimar a energia consumida para aquecimento, como dado no ASHRAE Handbook & Product Directory, Systems Volume, Capítulo 43, 1973”. Determina que a Equação 2.1 deve ser usada para determinar as combinações aceitáveis para ir ao encontro destas.

$$U_0 = \frac{[U_w \times A_w] + [U_f \times A_f] + [U_d \times A_d]}{A_0} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

onde:

U_0 = transmitância térmica média da área total de parede (W/m^2)

A_0 = área total da parede externa (m^2)

U_w = transmitância térmica dos elementos da área de parede opaca (W/m^2)

A_w = área de parede opaca (m^2)

U_f = transmitância térmica da área de janelas (W/m^2)

A_f = área de janelas (m^2)

U_D = transmitância térmica da área de portas (W/m^2)

A_D = área de portas (m^2)

É feita ainda uma observação no sentido de que se mais de um tipo de parede, janela ou porta forem usados, os termos $[U \times A]$ para estes elementos devem ser estendidos aos seus sub elementos, ou seja:

$$[U_{w_1} \times A_{w_1}] + [U_{w_2} \times A_{w_2}] + \dots, \text{ etc.} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Quanto ao telhado, a Norma apresenta a Equação 2.3 para determinar as combinações de elementos que compõem o mesmo:

$$U_0 = \frac{[U_R \times A_R] + [U_S \times A_S]}{A_0} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

onde:

U_0 = transmitância térmica média da área total de telhado (W/m^2)

A_0 = área total do sistema telhado (m^2)

U_R = transmitância térmica de todos os elementos da área de telhado opaco (W/m^2)

A_R = área de telhado opaco (m^2)

U_S = transmitância térmica de todos os elementos de abertura zenital no sistema telhado (W/m^2)

A_S = área de abertura zenital (incluindo a moldura) (m^2)

A observação feita anteriormente para as paredes também é válida para o telhado. Sendo assim, os termos $[U \times A]$, devem ser estendidos aos seus sub elementos:

$$[U_{R_1} \times A_{R_1}] + [U_{R_2} \times A_{R_2}] + \dots, \text{ etc.} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Para os edifícios classificados como sendo do tipo “B”, os critérios de aquecimento e resfriamento são adotados separadamente, sendo ainda separados para o sistema parede e para o sistema telhado.

Os critérios de aquecimento para os sistemas parede e telhado são apresentados de forma análoga àqueles adotados para os edifícios do tipo “A”.

Com relação ao critério de resfriamento, para o telhado é adotado o mesmo critério apresentado para o caso de aquecimento. Mas para as paredes uma nova metodologia é apresentada, ou seja, é adotado um valor de transferência térmica global (OTTV).

O OTTV é definido pela Norma **ASHRAE 90-75** como sendo a transferência térmica máxima permissível no edifício, através de suas paredes, devido ao ganho de calor solar e a diferença de temperatura entre o exterior e o interior do mesmo.

Já a Norma **ASHRAE 90A-1980** apresenta como novidade apenas a adoção do OTTV também para o sistema telhado. Com relação ao sistema parede, não foi apresentada nenhuma modificação. Mas para o sistema telhado, recomenda que o valor da transferência térmica global, $OTTV_R$, não exceda a um valor máximo nela estabelecido.

2.3 - Histórico do OTTV

O Valor de Transferência Térmica Global foi proposto pela primeira vez em 1975 na Norma **ASHRAE 90-75**. Esta norma e sua sucessora, a Norma **ASHRAE 90A-80**, foram implementadas em 46 estados dos Estados Unidos. O conceito OTTV também foi adotado em Singapura e em outros países do sudeste asiático. A definição dada pela Norma **ASHRAE 90-75** para o OTTV é de que este seja uma medida do desempenho térmico da envolvente do edifício para um valor de demanda máxima. Para isso, os valores de pico da intensidade solar, temperatura equivalente da parede e temperatura do ar externo foram usados. O valor do OTTV era então correlacionado com a energia usada para operar o “chiller”. Foi constatado que o uso dos valores de pico superestimava a energia de resfriamento usada e que os efeitos da orientação deveriam ser levados em consideração. Em seguida, valores de pico médios foram usados na equação, resultando em pequenas melhorias na correlação com a energia de resfriamento usada. Além disso, sua formulação necessitava ser desenvolvida a fim de proporcionar uma certa liberdade quanto à variação de componentes importantes da envolvente, para chegar aos seus objetivos de projeto e mesmo assim permanecer dentro dos valores máximos especificados.

Para garantir uma correlação entre o OTTV e a energia de resfriamento, os coeficientes da equação do OTTV são obtidos a partir de análises de regressão. Esta análise correlaciona as

características de paredes e janelas com a energia consumida no ar condicionado durante a estação em que se usa o resfriamento.

As características da envolvente que afetam a carga de resfriamento incluem parâmetros relacionados às aberturas, tais como: coeficiente de sombreamento (SC) do sistema janela; área da janela na forma da razão entre as áreas da janela e da parede (WWR), transmitância térmica da abertura (U_f); e parâmetros relacionados às paredes, tais como: massa térmica (capacidade calorífica e peso da parede); absorvidade solar (α) da superfície externa em função da cor e o nível de isolamento nas paredes representado pela transmitância térmica da parede (U_w).

2.3.1 - Equação Original do OTTV da ASHRAE 90-75

O conceito OTTV_w considera três ganhos básicos de calor através do sistema parede do edifício. A saber:

- transmissão de calor através da parede opaca;
- transmissão de calor através de aberturas;
- radiação solar através de aberturas (janelas).

Para a avaliação do desempenho térmico da envolvente, a equação original da Norma ASHRAE 90-75, revisada em 1980, é apresentada a seguir:

$$\text{OTTV}_w = \frac{\left[(U_w \times A_w \times \text{TD}_{\text{eq}}) + (A_f \times \text{SF} \times \text{SC}) + (U_f \times A_f \times \text{DT}) \right]}{A_0} \quad (\text{Eq. 2.5})$$

onde:

- OTTV_w = valor de transferência térmica global do sistema parede (W/m²)
- U_w = Transmitância térmica dos elementos da área opaca da parede (W/m² °C)
- A_w = Área de parede (m²)
- TD_{eq} = Diferença de temperatura equivalente interior exterior (°C)
- U_f = Transmitância térmica da abertura (W/m² °C)
- A_f = Área de aberturas (m²)
- SC = Coeficiente de sombreamento das aberturas
- DT = Diferença de temperatura interior-exterior (condições de projeto, °C)
- SF = Fator solar (W/m²)

A_0 = Área total da parede externa, $A_w + A_f$ (m^2)

O fator solar (SF) é a taxa média sobre um período de tempo definido no dia, para o qual a radiação solar direta e difusa é transmitida através de um sistema envidraçado com vidro simples e claro, expresso em W/m^2 .

Substituindo os termos que representam a área de cada elemento pela razão entre áreas janela/parede, a expressão do $OTTV_w$ passa a ter a seguinte forma:

$$OTTV_w = [U_w \times (1 - WWR) \times TD_{eq}] + (WWR \times SF \times SC) + (U_f \times WWR \times DT) \quad (Eq. 2.6)$$

onde:

$$WWR = \frac{A_f}{A_w} \text{ (razão entre áreas janela/parede)}$$

A fórmula original não considera explicitamente a variação que ocorre na radiação solar devido à orientação. É usado um peso médio para as fachadas do edifício. Isto tem a vantagem de ser simplificador, mas apresenta imprecisão quando existe uma diferença substancial na radiação solar que atinge uma superfície vertical em diferentes direções.

Para Singapura, a princípio foi usada a mesma equação original da ASHRAE. Entretanto algumas modificações foram feitas devido as condições climáticas da região, de características quente-úmido. Por exemplo:

- Fator solar: foi desenvolvido um fator solar (SF) baseado em dados climáticos locais. O valor encontrado para Singapura de $130 W/m^2$ foi substancialmente menor do que o valor recomendado pela ASHRAE de $360 W/m^2$, para a mesma localização.
- Orientação da parede: Um fator de correção (CF) adotado para o termo do fator solar (SF) permitiu a avaliação do impacto da orientação das aberturas.

Estas mudanças resultaram em um valor de $OTTV_w$ de $45 W/m^2$, o qual é menor que a metade do estabelecido pela ASHRAE para Singapura, ou seja, $91 W/m^2$.

A equação do $OTTV_w$ para Singapura considera uma variação na quantidade de radiação solar recebida por uma superfície vertical da parede de diferentes orientações. Por esta razão, a determinação do OTTV é feita em duas etapas. Na primeira, o $OTTV_w$ para cada parede é calculado. Na segunda, o OTTV para toda a envolvente do edifício é determinada, levando em conta o peso médio dos valores individuais.

Para a Malásia, a análise do critério OTTV_w começou com a verificação da hipótese de adicionar novas variáveis na equação original do OTTV_w da Norma **ASHRAE 90-75**. **DERINGER e BUSCH (1992)** avaliaram o impacto causado pelo uso da massa térmica e da absorvidade da parede opaca. Simulações de desempenho energético foram feitas variando a massa da parede e a massa do telhado para valores de absorvidades de 0,2 a 0,8, correspondendo à superfícies de cores claras e escuras respectivamente.

A massa térmica da parede externa teve um efeito pequeno na carga do “chiller”, variando em torno de 2%. Este resultado não foi considerado de impacto suficiente para aumentar a complexidade da equação do OTTV_w ao adicionar um termo de massa térmica separado. O impacto da massa térmica continuou embutido no termo relacionado à diferença de temperatura equivalente interior-exterior da equação original da Norma **ASHRAE 90-75**.

Mudanças na cor da parede opaca para variar a absorvidade solar de 0,2 até 0,8, resultou numa alteração em torno de 9% na carga do “chiller”. Isto só veio a confirmar a suposição inicial de que a cor da parede é um fator importante que afeta o uso de energia no edifício.

Para incorporar o termo absorvidade solar “ α ” foi necessário uma nova forma da equação. Estudos realizados na Malásia por **DERINGER e BUSCH (1992)** indicaram que a melhor maneira de incorpora-lo na equação é coloca-lo como uma constante multiplicadora no termo relativo a transmissão de calor através da parede opaca.

2.3.2 - Limitações da Metodologia do OTTV

Uma das limitações quanto à aplicação do método do OTTV, é que o mesmo trabalha com valores de cargas do “chiller”, as quais representam as cargas nos horários de pico, e não com valores de consumo de energia. O problema em se trabalhar com valores de cargas de pico é que estes são semelhantes para quase todas as regiões do Brasil. Desta maneira, obtém-se valores de OTTV parecidos para regiões com características climáticas diferentes. Mesmo quando são utilizados valores de médias de pico, a semelhança entre os valores permanece.

2.4 - Proposta de Norma para a Austrália

ELEY e KENNEDY (1994) comentam um estudo desenvolvido para determinar o nível de abrangência que uma norma de uso de energia em edifícios comerciais deveria alcançar. Este estudo, chamado NSA (National Stringency Analysis) foi basicamente uma análise de viabilidade econômica das medidas de eficiência energética de edifícios. Foram consideradas várias hipóteses de operação do edifício e diferentes condições climáticas em função da localização. Edifícios que operam durante as 24 horas do dia, como hospitais e hotéis foram diferenciados de edifícios que operam somente durante as horas do dia (manhã e tarde), como por exemplo lojas, escritórios e escolas, entre outros.

Três níveis de ganhos internos de calor foram considerados, ou seja, ganho de calor proveniente das pessoas, ganho de calor devido ao sistema de iluminação e o ganho de calor devido aos equipamentos. Foi constatado que a maior parcela de consumo de energia no edifício seria para o resfriamento e a menor seria para o aquecimento do mesmo. Este fato aumentava a probabilidade de que a adoção de medidas para reduzir as cargas de resfriamento seriam altamente eficientes, enquanto que reduzir as cargas de aquecimento seria de pouca eficiência na redução do consumo de energia. Foi examinado também o impacto causado pelo clima na análise energética e ao todo foram consideradas dez localidades com arquivos de dados climáticos diferentes.

É apresentado a seguir um resumo dos passos da metodologia adotada.

- a) Identificar, classificar e selecionar todas as medidas de eficiência energética razoáveis para cada componente da envolvente e reunir dados de desempenho e custos.
- b) Estimar o uso de energia de cada medida para os padrões de operação, níveis de cargas internas e climas.
- c) Calcular o custo da vida útil de todas as medidas para cada classe e identificar a escolha de menor custo. Apresentar os resultados na forma de gráficos para facilitar a compreensão.
- d) Mostrar como diminuir o custo da vida útil em consequência da variação de diferentes hipóteses econômicas e com diferentes “schedules” e ganhos internos.

Através de análises de regressão, foram determinadas equações que relacionam a energia consumida com a variável analisada. Os coeficientes destas equações foram determinados para os padrões de utilização estudados, ou seja, para edifícios que operam

durante as 24 horas do dia e para edifícios que são utilizados somente durante as horas do dia. Estes coeficientes foram determinados também para as 10 condições de clima analisadas. Foram desenvolvidas equações que relacionavam o consumo de energia com a envolvente opaca do edifício, a qual inclui a transmitância térmica das paredes, telhados e pisos; com as aberturas, relacionando o coeficiente de sombreamento e a razão entre áreas janela/parede; com o sistema de iluminação, através da definição da densidade de potência de iluminação; e também equações relativas ao sistema mecânico de ar condicionado, como a eficiência dos ventiladores e dos motores.

Uma vez definidos os coeficientes da equação para uma categoria particular de construção, qualquer outra alternativa dentro desta categoria pode ser avaliada pela equação do tipo mostrada a seguir:

$$\text{kWh} = \text{Constante} + U \times \text{EC}_i \quad (\text{Eq. 2.8})$$

onde:

kWh = energia elétrica utilizada

U = transmitância térmica da superfície opaca

EC_i = coeficiente de regressão relacionado à orientação i

Equações similares foram desenvolvidas através de análise de regressão para determinar o desempenho energético associado com outros elementos da construção.

2.5 - Proposta de Norma para os Estados Unidos

O Departamento de Energia do Governo dos Estados Unidos reuniu uma série de procedimentos relacionados a problemas de energia e financiou estudos e pesquisas não somente nos Estados Unidos, mas também em outros países.

Nos Estados Unidos, códigos e normas para conservação de energia em novos edifícios foram implementadas nos estados a partir da publicação da Norma **ASHRAE 90-75 (1975)**. Entretanto, existem diferenças entre os códigos dos estados em função dos diferentes critérios técnicos usados, fundamentos assumidos, diferentes tipos de utilização dos edifícios para os quais estas normas são aplicadas, diferentes procedimentos pelos quais a tolerância é

determinada e os diferentes níveis de exigências por parte dos governos estaduais nos quais a norma é promulgada.

Pode-se destacar cinco documentos relacionados à conservação de energia, os quais são usados como base técnica para todos os códigos de energia. São eles:

- Energy Conservation in New Building Design, ASHRAE Standard 90-75, desenvolvido pela Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado e Engenharia (ASHRAE).
- Energy Conservation in New Building Design, ASHRAE Standard 90A-1980, desenvolvido pela ASHRAE.
- Model Code for Energy Conservation in New Building Construction, 1977 (MCEC), desenvolvido pela National Conference of States on Building Codes and Standards, Inc. (NCSBCS) e baseado na ASHRAE Standard 90-75.
- Model Energy Code 1986, (MEC) desenvolvido pelo Council of American Building Officials (CABO) com o auxílio do Building Officials and Code Administrators International, Inc. (BOCA), International Conference of Building Officials (ICBO), Southern Building Code Congress International, Inc. (SBCCI) e NCSBCS e baseado na ASHRAE Standard 90A-1980.
- BOCA Basic Energy Code 1981, desenvolvido pelo Building Official and Code Administrator International, Inc. (BOCA).

Atualmente a Norma **ASHRAE 90A-1980** foi substituída pela Norma **ASHRAE 90.1-1989** e alguns códigos estaduais de energia foram revisados para levar em conta as mudanças nas exigências e abordagens bem como os procedimentos de tolerância estabelecidos pela Norma **ASHRAE 90.1-1989**.

O Departamento de Energia dos Estados Unidos adotou a sua própria versão da Norma 90.1 e a aplicou para todos os edifícios federais, próprios ou alugados. Os Estados de Massachusetts e Minnesota adotaram a 90.1 como suas normas estaduais de energia.

O Estado da Califórnia adotou sua terceira norma que passou a vigorar em julho de 1992. Este estado sempre esteve à frente em relação à eficiência energética. A nova norma apresenta uma limitação para a razão janela-parede (WWR), ganho de calor solar e a transmitância das aberturas.

O código de energia da Flórida está baseado na Norma **ASHRAE 90A.80**. O critério

da envolvente térmica especifica um valor máximo de OTTV para as paredes externas e para o telhado.

Para estimar o OTTV da parede externa, os valores do fator solar (SF) são dados em função da orientação. Aumentar a área envidraçada é possível para as paredes que recebem pouca radiação solar, mas por outro lado, a área envidraçada é limitada para as paredes que recebem muita radiação solar.

O código de energia do Hawaí está baseado na Norma **ASHRAE 90-75**, sendo que uma revisão deste foi feita para incorporar as modificações da Norma **ASHRAE 90.1 de 1989** e também para analisar a norma de energia da Califórnia para uma possível adoção como código estadual.

A norma fornece um OTTV máximo de resfriamento para paredes exteriores e um valor de transmitância térmica (U) para o telhado. Os fatores solares são dados pela orientação e hora do dia para estimar o OTTV das paredes. Além disso, o código inclui um critério de iluminação máximo, o qual serve para limitar a potência de iluminação com base no tipo de ocupação.

O novo código de energia do Estado de Nova York também se baseia na Norma **ASHRAE 90-75**. Para novos edifícios comerciais é especificado um OTTV máximo para paredes externas e um valor de transmitância térmica (U) máximo para o telhado.

2.6 - A Norma ASHRAE 90.1 - 1989

A Norma **ASHRAE 90.1 - 1989** fornece uma série de diretrizes para projetos de eficiência energética de edifícios. Estas diretrizes são designadas para promover a aplicação de técnicas e práticas de projetos com viabilidade econômica, as quais minimizem o consumo de energia sem sacrificar o conforto e a produtividade dos ocupantes.

Os objetivos da norma incluem:

- Determinar exigências mínimas para projetos de eficiência energética de novos edifícios.
- Fornecer critérios para projetos de eficiência energética e metodologias para analisar projetos baseados nestes critérios.
- Dar orientação durante o projeto de eficiência energética de edifícios e seus sistemas.

Os projetistas devem considerar as exigências da norma como sendo um ponto de partida a incentivá-los a considerar o relacionamento dos diferentes elementos e sistemas do edifício na busca de projetos que estejam de acordo, ou até mesmo que superem as exigências da norma.

A nova Norma **ASHRAE 90.1-1989**, substitui o uso do OTTV como medida do desempenho da envolvente do edifício por uma equação mais complexa conhecida como ENVSTD (envolvente padrão). O consumo de energia devido à envolvente atribuído aos ganhos de calor por transmissão e por radiação solar, pode ser computado manualmente através de tabelas e gráficos fornecidos pela norma ou então através de “software” também fornecido com a norma. O equacionamento do ENVSTD simula com maior precisão as cargas de aquecimento e resfriamento através da envolvente.

2.7 - A Versão Codificada da Norma ASHRAE/IES 90.1 - 1989

No ano de 1992, o governo americano promulgou a Lei Pública 102-486, a “Energy Policy Act”. Esta lei afirma, através de suas exigências, que dentro de um prazo de dois anos após a aprovação desta, cada estado deveria certificar a “Secretaria do Departamento de Energia” que seus códigos de edifícios comerciais seriam revisados e atualizados com relação à eficiência energética. Estas informações deveriam incluir uma demonstração de que os códigos estaduais estariam de acordo ou excederiam as exigências da Norma **ASHRAE/IES 90.1-1989**.

A **ASHRAE** concordou em desenvolver uma versão codificada da Norma **ASHRAE/IES 90.1 - 1989**. O esboço desta versão incluiria exigências da norma e seriam reunidos num formato e linguagem próprio de um código. Este esboço seria revisado pela mesa diretora da **ASHRAE**, cuja incumbência foi de determinar que a versão codificada da norma fosse igual às exigências da mesma.

A comissão apontou os seguintes objetivos:

- minimizar o esforço exigido dos projetistas para trabalharem em concordância com a norma;
- permitir o uso de programas computacionais para iluminação e envolvente, fornecidos junto com a norma;

- simplificar as tabelas “Alternate Component Package” da envolvente do edifício e fazer com que estas sejam no mínimo especificadas em suas exigências;
- simplificar as tabelas de eficiência energética dos equipamentos;
- incorporar informações no código, quando possível, para reduzir a necessidade de se fazer referências à outras normas.

O Conselho Diretor da ASHRAE votou e aprovou a codificação proposta, em julho de 1993, submetida a uma última revisão pelos membros do “Standing Standards Project Committee 90.1”. Em outubro do mesmo ano o comitê recomendou a publicação do mesmo.

A principal finalidade deste código é fornecer os padrões mínimos para a conservação de energia, ou seja, fornecer as exigências mínimas para a envolvente do edifício, sistemas e equipamentos de iluminação e potência elétrica, aquecimento, resfriamento, ventilação, água quente de serviço e gerenciamento de energia. É aplicado para edifícios residenciais novos e de grande altura e edifícios comerciais novos. A seguir são comentados os itens apresentados neste código.

- Equipamentos e sistemas elétricos:

Nesta parte da versão codificada da Norma **ASHRAE/IES 90.1-1989**, são incluídos os sistemas de iluminação e potência elétrica, com exceção daqueles utilizados somente em situações de emergência. É recomendado aqui que para edifícios com um único usuário (edifícios próprios de empresas ou entidades), a medição do consumo de eletricidade seja feita por medidores separados por categoria de uso, ou seja, iluminação, sistema de ar condicionado e outros. No caso de edifícios com múltiplos usuários, recomenda que as medições de consumo sejam feitas de forma individualizada, inclusive para o sistema de ar condicionado e água quente.

Quanto ao sistema de distribuição de eletricidade, determina que a pessoa responsável pelo mesmo, forneça ao proprietário do edifício um diagrama unifilar, onde são mostrados o sistema de distribuição, o qual inclui a localização e acesso aos medidores e diagramas esquemáticos do sistema de controle elétrico, com exceção do ar condicionado.

Quanto aos motores, ressalta que todos os motores polifásicos com potência igual ou superior a 1 Hp estejam dentro das exigências mínimas de eficiência estabelecidas por este código.

Para o sistema de iluminação, o usuário pode escolher em utilizar a metodologia

proposta na norma ou então, de maneira alternativa, usar o “Lighting Compliance Calculation Computer Program (LTGSTD21)” para determinar a potência de iluminação permitida para o edifício. Este programa é fornecido junto com a versão codificada da Norma **ASHRAE/IES 90.1-1989**. A versão codificada desta norma, traz especificações separadas para a iluminação externa e interna do edifício. Para a parte interna, as potências máximas de iluminação permitidas são definidas em função das atividades principais de cada espaço do edifício e da área do mesmo. O valor máximo determinado pela versão codificada desta norma é de 20,45 W/m² (1,9 W/ft²) para edifícios de escritórios com área até 185,6 m² (2000 ft²) e o valor mínimo é de 16,15 W/m² (1,5 W/ft²) para edifícios com área superior à 23.225,8 m² (250000 ft²). Comparando estes valores com o estabelecido pela Norma **NBR 6401 (1980)**, que recomenda uma potência de iluminação de 40 W/m², observa-se a necessidade de uma revisão desta Norma pelo fato da mesma indicar valores muito acima da necessidade de uso dos ocupantes. Ainda com relação à iluminação, é colocado que a potência de iluminação pode ser diminuída através do uso de luminárias controladas automaticamente pela presença de ocupantes, utilização de luz natural, manutenção de lumens ou programação do tempo de funcionamento.

- Equipamentos e sistemas mecânicos do edifício:

Os equipamentos e sistemas mecânicos utilizados para fornecer aquecimento, ventilação e condicionamento do ar devem seguir as exigências estabelecidas por este código quanto à eficiência destes equipamentos e quanto aos procedimentos para determinação de carga térmica e dimensionamento dos sistemas e equipamentos de ar condicionado.

- Envolvente do Edifício:

Quanto à envolvente do edifício, a versão codificada da Norma **ASHRAE/IES 90.1-1989**, fornece informações e apoio para o cálculo da “performance” térmica da mesma. Neste item, determina que a transmitância térmica global da envolvente do edifício deve ser calculada de acordo com a equação 2.9:

$$U_0 = \sum \frac{U_i A_i}{A_0} = \frac{(U_1 A_1 + U_2 A_2 + \dots + U_n A_n)}{A_0} \quad (\text{Eq. 2.9})$$

onde:

U_0 = transmitância térmica média, ponderada por área de toda a envolvente do edifício,

ou seja, o conjunto parede externa incluindo janelas e portas, o telhado e o piso.

A_0 = área total da envolvente do edifício.

U_i = transmitância térmica de cada componente, individualmente, da envolvente do

edifício. Sendo que $U_i = \frac{1}{R_i}$, onde R_i é a resistência total ao fluxo de calor de

cada parte da envolvente do edifício.

A_i = área de cada elemento da envolvente do edifício.

Acrescenta ainda que a transmitância térmica de cada componente da envolvente do edifício deve ser determinada considerando-se todos os principais caminhos do fluxo de calor, seja por uma associação em série ou em paralelo dos elementos da componente. Devem ser considerados também os coeficientes de filme.

Na seção referente à migração de umidade e ar de infiltração, as exigências são aplicadas somente para aqueles componentes do edifício que separam o espaço condicionado no interior do edifício de espaços externos ou espaços não condicionados.

A seguir são citados os critérios de “Performance” Térmica para telhados, pisos e paredes adjacentes a espaços não condicionados, determinando que a transmitância térmica média de telhados, pisos e paredes nestes casos, não deve exceder os critérios apresentados nesta versão codificada da Norma **ASHRAE/IES 90.1-1989**.

As paredes externas devem estar de acordo com os seguintes critérios: (1) critério prescritivo e (2) critério de desempenho do sistema. O segundo determina que os valores do fluxo anual de energia cumulativo atribuído à transmitância térmica e ganhos solares devem ser menores do que os valores calculados através do programa computacional ENVSTD21, que acompanha a Norma. Este programa foi desenvolvido com base no programa DOE-2.1E.

No item a seguir, é feita a descrição do programa simulador DOE-2.1E, utilizado neste estudo.

2.8 - O Programa Simulador DOE-2.1E

O Programa DOE-2.1E é considerado confiável sobre uma ampla variedade de características energéticas, e seus algoritmos são considerados de domínio público, ou seja, estão abertos para inspeção e modificações. Em função destas características, o DOE-2.1E é considerado como “ponto de referência” para outras ferramentas de simulação energética, e

tem sido usado para análises de políticas de energia nos Estados Unidos e em outros países. O DOE-2.1E foi extensamente utilizado no desenvolvimento e na avaliação da nova versão da norma americana ASHRAE para edifícios comerciais e na proposta de norma da mesma ASHRAE para residências. Foi utilizado para fornecer um suporte na análise das normas de energia nos estados da Califórnia, Novo México e outros.

O programa DOE-2.1E estima o custo e a quantidade de energia horária utilizada em um edifício levando em conta informações climáticas horárias, a descrição do edifício e de seus equipamentos de ar condicionado e a estrutura tarifária local.

O DOE-2.1E é um programa desenvolvido na linguagem FORTRAN que pode ser usado numa grande variedade de computadores, entre eles, estação de trabalho (SUN) e microcomputadores tipo PC. Usando o DOE-2.1E, pode-se determinar a escolha de parâmetros do edifício que melhorem a eficiência energética enquanto mantém o conforto térmico. Tem como finalidade auxiliar na análise do uso de energia nos edifícios, lembrando que este não é a única fonte de informações confiáveis para o projeto de edifícios. A experiência e discernimento de engenheiros e arquitetos permanecem ainda como o mais importante elemento na difícil tarefa de projetar edifícios.

2.8.1 - Processo de Simulação do DOE-2.1E

O processo de simulação do DOE-2.1E é executado através de quatro subprogramas sequenciais. O primeiro subprograma, LOADS, utiliza dados climáticos, características da envolvente e as “schedules” de uso e ocupação, para calcular as taxas de aquecimento ou resfriamento que ocorrem em cada espaço do edifício. O segundo subprograma, SYSTEMS, usa a saída de dados do LOADS e calcula as demandas para ventilação, água quente e fria, eletricidade e outros usos para manter a temperatura e umidade dentro dos “setpoints” estipulados. Além disso, equipamentos auxiliares de ar condicionado, ventilação e aquecimento também são avaliados dentro do subprograma SYSTEMS. O terceiro subprograma, PLANTS, simula o comportamento do sistema primário de ar condicionado (boilers, chillers, torre de resfriamento, etc) usando as demandas calculadas pelo subprograma SYSTEMS. O último subprograma, ECONOMICS, simula o custo da energia através do consumo de eletricidade e outros tipos de combustíveis, com a capacidade de modelar diversas estruturas tarifárias.

Na Figura 2.1 é mostrado o fluxograma de funcionamento do programa bem como sua estrutura de entrada e de saída de dados.

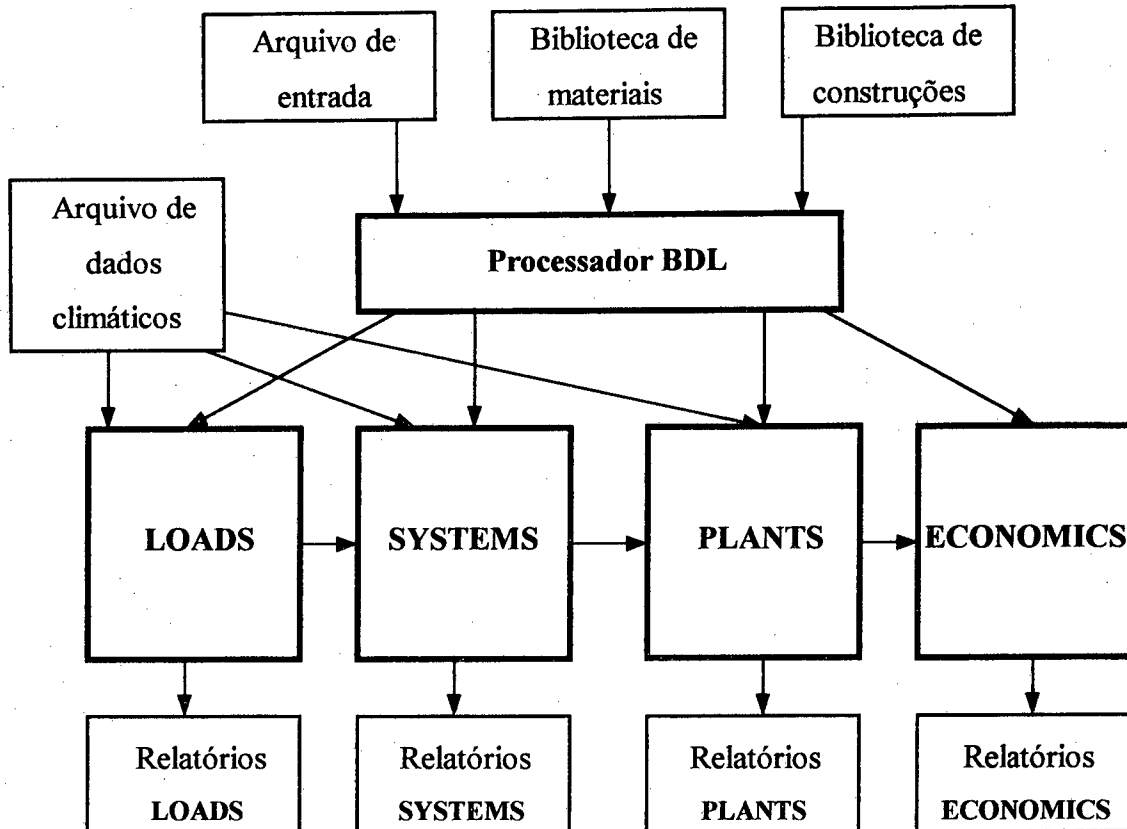


FIGURA 2.1. Estrutura do programa DOE-2.1E

De acordo com WINKELMANN et al (1991), para elaborar o arquivo de entrada de dados do DOE-2.1E é usado uma linguagem específica conhecida como BDL (Building Description Language), onde as instruções podem ser passadas ao programa de uma forma simplificada e de fácil compreensão. A linguagem de descrição do edifício (BDL) lê os dados fornecidos pelo usuário num formato bastante flexível e os traduz para uma linguagem reconhecível pela máquina, passando-os para os quatro subprogramas.

É no LOADS que se faz a descrição das características do edifício tal como a sua forma, tamanho e posição das paredes, portas, janelas, pisos, forros e telhado, bem como a descrição das propriedades térmicas dos materiais que compõem cada elemento citado. São definidos também no LOADS todos os “schedules” de funcionamento dos sistemas de iluminação, equipamentos e ocupação das zonas consideradas, assim como as condições ambientes de controle de temperatura e umidade, taxa de renovação de ar, etc. Calcula os componentes sensível e latente das cargas de resfriamento ou aquecimento para cada espaço

designado pelo usuário, admitindo que para cada espaço se mantenha a temperatura constante selecionada para o mesmo. A transferência de calor por condução através da envolvente do edifício é calculada usando o método dos fatores de resposta, que considera o efeito da massa térmica e a colocação ou não de isolamento térmico.

O SYSTEMS simula o desempenho do equipamento secundário de condicionamento de ar (HVAC) utilizado para controlar a temperatura e umidade das zonas internas do edifício. O SYSTEMS usa as informações da saída do LOADS e uma série de informações das características fornecidas pelo usuário para as taxas de fluxo de ar, “setpoints” do termostato, perfis de operação dos equipamentos (“on”, “off”), determinando a necessidade horária de energia para o sistema de ar condicionado. As cargas térmicas são recalculadas baseadas na variação das condições de temperatura de cada zona. A saída de dados do SYSTEMS apresenta uma lista das cargas reais nas serpentinas de aquecimento e resfriamento por zona, a nível de sistema.

O subprograma PLANTS executa os cálculos de desempenho do equipamento primário (torre de resfriamento, “chillers”, compressores, “boilers”, etc). A operação de cada equipamento é modelada em função das condições de operação dos componentes do PLANTS. O usuário pode selecionar o tipo, tamanho e número de unidades, como pode também optar pela alternativa de auto dimensionamento dos equipamentos. O PLANTS usa os resultados horários do LOADS e do SYSTEMS para calcular o consumo de energia do edifício.

O ECONOMICS é usado para calcular os custos da energia consumida no edifício. O usuário pode definir os custos de fornecimento de energia através da definição do tipo de tarifa a ser aplicada. Pode-se entrar com os custos das alternativas de projeto, a fim de se fazer uma análise comparativa entre as mesmas e decidir pela opção que venha proporcionar a melhor relação custo benefício. Existe também a opção de trabalhar com alternativas de “retrofit” ou substituição de determinados elementos da envolvente do edifício existente, a fim de determinar o período de retorno do investimento em função da energia economizada a partir das medidas adotadas.

2.9 - Arquivo de Dados Climáticos

Para as simulações do DOE-2.1E serem postas em práticas, foi necessário obter um

arquivo de dados climáticos para o local considerado. **GOULART (1993)** em seu trabalho, desenvolveu um arquivo deste tipo para a cidade de Florianópolis, no formato TRY (Test Reference Year). Um arquivo TRY consiste de dados climáticos horários apresentados de uma forma padrão, a fim de que possam ser utilizados pelo programa DOE-2.1E. Para se obter um arquivo TRY adota-se o critério de eliminação de anos de dados, os quais contém temperaturas médias mensais extremas (altas e baixas), até chegar a um ano apenas. Este ano resultante pode ser usado como referência em relação ao clima local.

As variáveis climáticas usadas pelo DOE-2.1E incluem:

- mês, dia e hora;
- temperatura de bulbo seco;
- temperatura de bulbo úmido;
- temperatura do solo;
- velocidade do vento;
- direção do vento;
- pressão barométrica;
- quantidade de nuvens;
- tipo de nuvens;
- altura de nuvens;
- radiação solar.

O arquivo de dados climáticos contém também a latitude, longitude e a hora local oficial da região. Tais informações podem ser substituídas pelo usuário através da instrução “BUILDING-LOCATION” do programa DOE-2.1E.

Os valores horários para estas variáveis são necessárias, porque o DOE-2.1E desempenha uma análise horária sequencial para cada uma das 8760 horas do ano. Para temperatura, umidade e variáveis de vento, dados locais são geralmente disponíveis em aeroportos. Para Florianópolis, os dados relativos à radiação solar não existiam. Em função disto, estes dados são calculados pelo DOE-2.1E a partir da quantidade de nuvens que constam do arquivo de dados climáticos.

De acordo com o **LBL (1981)**, nenhum arquivo TRY contém dados de radiação solar medidos. O **LBL (1993)** esclarece que este tipo de medidas estão disponíveis apenas em arquivos do tipo TMY ou WYEC.

Os dados climáticos disponíveis em “tapes” TRY (Test Reference Year), TMY (Typical Meteorological Year), WYEC (Weather Year for Energy Computation), 1440, CD144 ou CTZ não podem ser usados pelo programa DOE-2 até que estes sejam compilados num formato legível pelo programa DOE-2. O Processador Climático do DOE-2 tem a finalidade de realizar esta tarefa. Além disso, o Processador Climático do DOE-2 é capaz de executar outras tarefas:

- pode ler, ou uma fita magnética com dados climáticos ou um arquivo climático compactado e produzir uma listagem horária dos dados.
- pode ler um arquivo compactado e substituir as variáveis selecionadas pelo usuário, ou seja, pode editar um arquivo climático compactado.
- pode ler um arquivo compactado e produzir relatórios estatísticos anuais.

Duas opções estão disponíveis para calcular os valores horários necessários. Na primeira opção, o subprograma LOADS calcula os valores horários de radiação solar usando o “Boeing cloud cover” modificado para estimar a radiação solar a partir dos dados relacionados à quantidade de nuvens. Esta é a opção que foi usada no arquivo climático de Florianópolis.

A segunda opção usa o modelo modificador de cobertura de nuvens de Kimura-Stephenson. Este modelo está disponível somente nos processadores climáticos para “tapes” TRY. Especificando a opção TRYKS para o processador climático, resultará num arquivo climático “solar”. O subprograma LOADS do DOE-2 usará então estes valores solares no lugar dos “Boeing cloud cover” usualmente calculados na primeira opção. O algoritmo de Kimura-Stephenson foi desenvolvido a partir da comparação de dados solares medidos com dados de cobertura por nuvens para uma localidade próxima à Ottawa no Canadá. Esta opção deve ser usada somente para climas similares ao de Ottawa.

2.10 - Análise Paramétrica de Edifícios Comerciais

LAM e HUI (1993), destacando a importância dos métodos de simulações computacionais na análise termo-energética de edifícios, apresentaram um estudo do desempenho térmico e energético de edifícios comerciais em Hong Kong usando o programa de simulação energética DOE-2.1D para computadores do tipo PC.

Com esta finalidade uma análise paramétrica foi conduzida a fim de explorar e verificar os fatores de projeto relacionados à energia e identificar os parâmetros mais importantes que influenciam no consumo de energia de edifícios comerciais em Hong Kong. Os parâmetros para entrada no programa de simulação energética foram classificados dentro de três grupos principais: Cargas do edifício, sistema secundário do ar condicionado (SYSTEMS) e sistema primário do ar condicionado (PLANTS). Cada grupo foi ainda dividido em subgrupos, como mostrado na Figura 2.2.

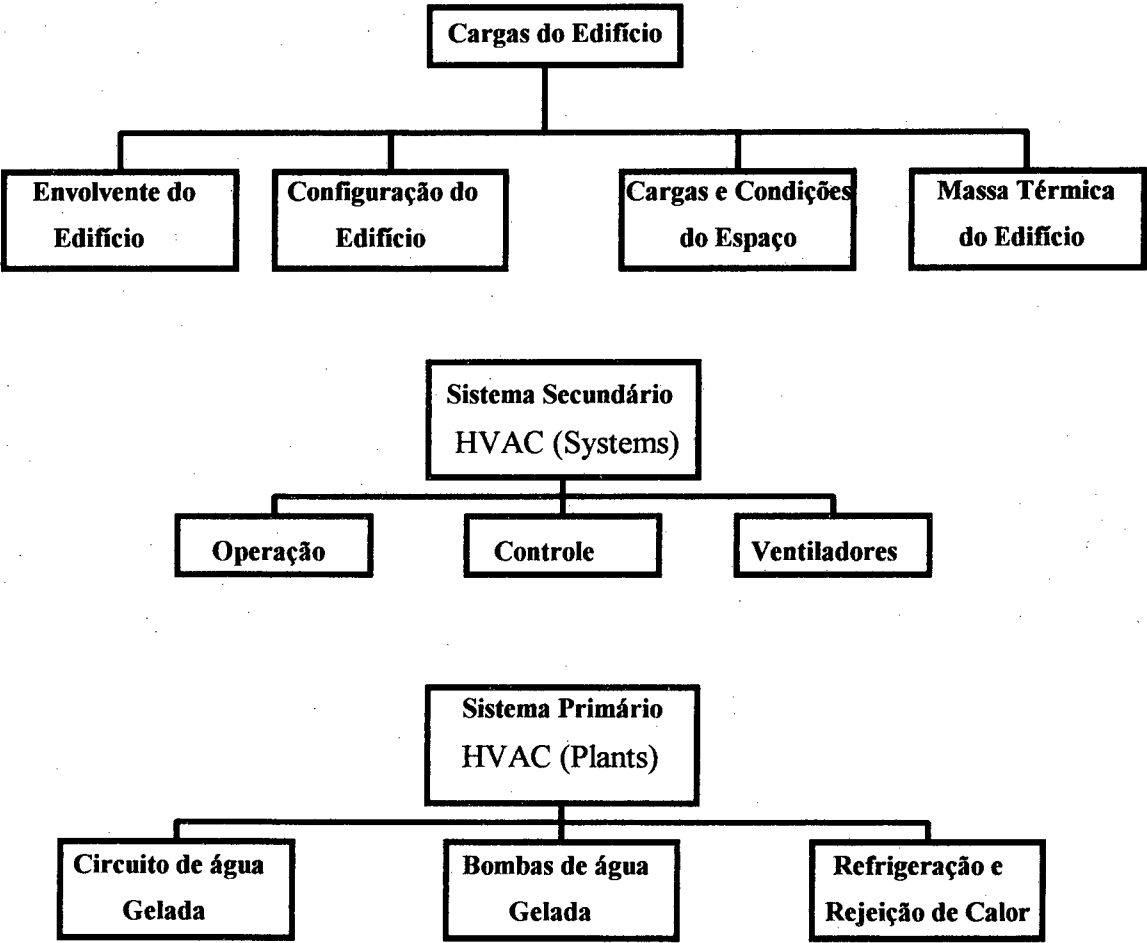


FIGURA 2.2. Classificação dos Parâmetros de Entrada

Cada um dos parâmetros de estudo foi variado isoladamente (um de cada vez), com relação ao caso base dentro de um intervalo pré selecionado. Uma série de simulações foram então executadas a fim de estudar os efeitos destes no consumo de energia do edifício! Alguns parâmetros, tais como o tipo de sistema de ar condicionado e formas de controle destes, não são numéricos, sendo assim, foram avaliados qualitativamente. Através de análises de

regressão, a relação entre o consumo de energia anual e os parâmetros de entrada, foram estabelecidas a fim de se compreender o comportamento energético do edifício em função destes parâmetros.

Um resumo das cargas e características de uso de energia do edifício modelado foi feito. As características principais observadas são resumidas a seguir:

- exigências de resfriamento se destacam no consumo anual de energia do edifício ficando em torno de 52% (incluindo “chillers”, ventiladores e bombas). A necessidade de energia de aquecimento foi insignificante, ficando por volta de 0,1%, como poderia se esperar para o clima subtropical de Hong Kong.
- as cargas básicas do sistema, ou seja, iluminação e equipamentos, as quais não dependem do clima, contribuíram com quase 48% do consumo total de energia elétrica.

LAM e HUI (1993) sugerem uma análise de sensibilidade para comparar mudanças na entrada dos parâmetros. O principal objetivo é avaliar a significância de cada parâmetro sobre o consumo de energia anual. Destaca que conhecer a influência que os parâmetros entrados individualmente tem nos resultados de saída é útil para identificar as características mais importantes e críticas. Acrescenta que os resultados desta análise também fornecem informações relacionadas à resposta da ferramenta simuladora e do modelo, para os parâmetros entrados.

A seguir, é apresentado um resumo dos resultados da análise de sensibilidade, como segue:

- Para a carga do edifício: destaca as cargas básicas internas, incluindo iluminação, equipamentos e ocupantes como as mais significantes. Outros parâmetros importantes incluem as variáveis de projeto para a envolvente do edifício tais como a razão entre áreas janela/parede (WWR), coeficiente de sombreamento (SC), valor de transmitância térmica (U) e absortividade (α) da parede opaca.
- Para o sistema secundário do ar condicionado (SYSTEMS): classifica como essenciais os “setpoints” do termostato do ar condicionado para o verão, a eficiência e a pressão estática dos ventiladores.
- Para o sistema primário do ar condicionado (PLANTS): destaca o coeficiente de desempenho dos “chillers”, a temperatura da água gelada de abastecimento, a diferença de temperatura de projeto da água gelada e a eficiência das bombas de impulsão de água gelada como sendo influentes no consumo de energia.

LAM e HUI (1993) mostraram ainda que através da análise de regressão, pode-se estabelecer relações matemáticas entre as variáveis de entrada e saída.

Os resultados da análise de regressão sugerem que muitos parâmetros de carga do edifício estão linearmente relacionados com o consumo anual de energia elétrica ($R^2 > 0.9$), enquanto que muitos parâmetros do sistema de ar condicionado podem ser ajustados por equações quadráticas ($R^2 > 0.9$).

BUSCH (1992) em seu trabalho desenvolveu uma série de simulações paramétricas usando o programa DOE-2.1D em três protótipos de edifícios comerciais na Tailândia: um edifício de escritórios, um hotel e um “shopping center”. Verificou uma ampla variedade de medidas de conservação de energia apropriadas para cada tipo de edifício, desde características arquitetônicas, até soluções de controle dos equipamentos de ar condicionado. Destaca também a necessidade de se comparar o custo da energia economizada com os custos extras, necessários para alcançar esta economia. Nesta análise, BUSCH (1992) emprega vários índices de desempenho econômico, destacando o período de retorno como o índice econômico mais conhecido. É calculado como sendo a razão entre o custo adicional para a conservação de energia e o valor da energia economizada no período de um ano, ou seja:

$$\text{Período de retorno} = \frac{\text{Custo Adicional}}{\text{Economia Anual}} \quad (\text{Eq. 2.10})$$

Nas simulações paramétricas, os parâmetros foram variados um de cada vez, para observar sua contribuição no desempenho energético total do edifício. Coloca como desvantagem desta abordagem o fato de não considerar as interações entre os parâmetros que podem diminuir ou acentuar o efeito da variação de cada um isoladamente. A seguir faz uma análise dos resultados das simulações separadamente para cada medida adotada. Dentre as medidas arquitetônicas, BUSCH (1992) comenta a influência de algumas, tais como:

- Orientação do edifício: conclui que, se o edifício tem forma quadrada, como no caso do edifício de escritórios, ou boa proteção quanto à radiação solar, a orientação é irrelevante. Se o edifício tem fator de forma maior do que 1:1 (hotéis e “shopping centers”), ou não possui sistema de proteção solar nas fachadas, a orientação pode ser considerada. Nestes casos observou variações em torno de 1%.

- Infiltração: quanto à infiltração, assumiu que todos os edifícios simulados teriam uma troca de ar por hora. Chegou a conclusão que hotéis e “shopping centers” apresentam uma condição favorável a economia de energia a partir da redução da taxa de infiltração enquanto que para o edifício de escritórios esta medida não teve influência significativa. Isto se deve ao fato da infiltração ocorrer durante o dia nos quartos desocupados e antes das lojas abrirem no meio da manhã, enquanto que a infiltração diurna nos escritórios somente ocorre nos finais de semanas. Salienta ainda que, na Tailândia, os benefícios de reduzir a infiltração abaixo de 1 troca de ar por hora são mínimos, mas as penalidades para permitir que se aumente a mesma acima de 1 troca de ar por hora são altas.

- Paredes e telhados opacos: com relação a este item, **BUSCH (1992)** conclui que, para edifícios de escritórios, o maior efeito devido ao aumento da massa térmica das paredes, reflete numa economia de 2,5% da energia total, enquanto que para hotéis chega-se somente a 1%. Para edifícios de escritório, o efeito do telhado é desprezado, principalmente pelo fato destes terem uma pequena percentagem da área total da envolvente em edifícios altos (por exemplo, 12 pavimentos). Destaca que o uso de isolamento térmico nas paredes para diminuir a transmitância térmica pode propiciar uma economia de 3,5% na energia total em hotéis, mas que para edifícios de escritórios os valores são insignificantes. Isto ocorre provavelmente devido ao fato de que nos hotéis, os sistemas que regulam os ganhos de calor operam durante as 24 horas do dia, enquanto que nos edifícios de escritórios, alguns desses ganhos de calor sofrem um retardo pela massa térmica e são dissipados durante à noite. A transmitância térmica do telhado tem impacto pequeno no uso de energia devido às mesmas razões apresentadas anteriormente. Lembra ainda que paredes com cores claras absorvem menos radiação solar do que paredes com cores escuras, resultando na diminuição das temperaturas superficiais e conseqüentemente nos ganhos de calor por condução. Embora os edifícios de escritórios tenham uma menor proporção de parede opaca em relação à área total de parede, estes tem uma resposta maior às mudanças da absortividade. Aqui novamente, as horas de operação do edifício servem como justificativa.

- Janelas: quanto às janelas, são feitos alguns comentários quanto à razão entre áreas janela/parede (WWR) e ao coeficiente de sombreamento (SC). Lembra que na Tailândia, a alta intensidade solar resulta em altos ganhos de calor por radiação através das janelas dos edifícios. Portanto, qualquer estratégia de projeto que vise a conservação de energia deveria incluir a previsão de controladores de ganho de calor através de janelas. Notou que variar o coeficiente de sombreamento ($SC = 1$ até $SC = 0,1$) resultava em economia de energia da

ordem de 20% (para $WWR = 0,5$). Observou também que para edifícios de escritórios, onde o coeficiente de sombreamento adotado era baixo ($SC = 0,34$), a variação da razão janela/parede ($WWR = 0,9$ até $WWR = 0,1$) resultou em economia de energia da ordem de 12%.

- Iluminação e Equipamentos: **BUSCH (1992)** classifica como cargas devidas à equipamentos de escritório aquelas proveniente de refrigeradores pequenos, máquinas fotocopadoras, computadores, impressoras e fax. Classifica a iluminação como sendo um uso final de energia significativa por duas razões: 1) utiliza energia diretamente para produzir luz; e 2) durante a geração de luz, perde energia na forma de calor, o qual deve ser removido pelo sistema de ar condicionado. Conclui que cortando pela metade a densidade de potência de iluminação (no caso estudado de 20 W/m^2 para 10 W/m^2), produziu uma economia de energia em torno de 18%. Lembra ainda que existem muitas opções de sistemas de iluminação que usam menos de 10 W/m^2 , enquanto mantém níveis de iluminamento adequados.

É importante lembrar que a **NBR 6401 (1980)** (Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto - Parâmetros Básicos de Projeto) recomenda uma potência dissipada para iluminação de 40 W/m^2 , o que pode ser considerado um exagero, se comparado com os valores citados acima.

GÓMEZ e LAMBERTS (1995) realizaram simulações com várias alternativas de projeto para um edifício comercial em Florianópolis, usando o programa DOE-2.1E. Mantiveram constante a taxa de ocupação, a potência de iluminação, o número de equipamentos de escritório e a área construída. Dentre as alternativas de projeto, consideraram edifícios de 1 e 10 andares, fator de forma (FF) de 1:1 (quadrado) e 1:3 (retangular) e razão janela/parede (WWR) iguais a 0,3 e 0,7.

Baseado nos resultados das simulações, chegaram as seguintes conclusões:

- Quanto ao fator de forma (quadrado/retangular), para a mesma razão janela/parede ($WWR = 0,3$) e edifício de 1 andar, não observaram diferenças significativas nas cargas térmicas nem no consumo de energia elétrica, sendo que este último alcançou no máximo a 2%.

- Quanto ao número de andares (1 e 10 andares), notaram que o consumo de energia elétrica é maior para o prédio de 10 andares, chegando a 36% quando a razão janela/parede era igual a 0,3 e alcançando 60% no caso de se usar um WWR igual a 0,7. Isto se deve ao fato de que as cargas térmicas provenientes das paredes e janelas serem maior do que a parcela oriunda do telhado, para o prédio de 10 andares. Além disso, a configuração adotada para o

telhado, ou seja, telha de fibrocimento pintada com tinta de cor alumínio (baixa absorvidade) e camadas de ar entre as telhas e a laje e entre a laje e o forro falso, contribuíram para diminuir a carga térmica proveniente do telhado, principalmente no prédio de 1 andar, onde este tem maior influência. Além disso, as janelas foram dotadas de vidro comum sem brises ou marquises.

- Quanto à razão janela/parede (WWR), para a alternativa de projeto com janelas maiores, as cargas térmicas e o consumo de energia elétrica foram maiores. Reduzindo WWR de 0,7 para 0,3, observaram reduções no consumo de energia elétrica de 15% para prédios com forma quadrada e 25% para prédios de forma retangular.

- Quanto à orientação, analisando o edifício de forma retangular ($FF = 1:3$) e para a mesma razão janela/parede, observaram que os edifícios com a face maior voltada para a orientação leste/oeste apresentaram maiores consumos, apesar das diferenças serem pequenas, não ultrapassando a 4% do consumo de energia elétrica.

- Quanto à orientação das zonas, considerando o edifício de forma quadrada ($FF = 1:1$) observou que as zonas que apresentavam maior carga térmica foram, por ordem de grandeza, a oeste, a leste e a norte. A diferença entre as cargas térmicas de resfriamento de pico entre a zona mais quente (oeste) e a mais fria (sul), atingiu 13% no caso de edifícios de 1 andar e $WWR = 0,3$ e chegou a 80% no caso de edifícios de 10 andares e $WWR = 0,7$.

Um estudo em que foram comparados os resultados de simulação com o consumo de energia medido num edifício comercial em Florianópolis, foi desenvolvido por **LAMBERTS et al (1994)**. O edifício analisado foi o do Fórum do Estado de Santa Catarina. É um prédio de 12 andares, de forma cilíndrica e com grande área envidraçada exposta à radiação solar.

A coleta de dados foi realizada a partir da análise de plantas do projeto, do levantamento “in loco” do consumo em equipamentos, iluminação, elevadores e entrevistas com a equipe de manutenção do edifício.

Os dados relativos ao consumo de energia foram obtidos a partir das leituras dos medidores pela concessionária de distribuição de energia (CELESC).

LAMBERTS et al (1994) apresentam uma comparação entre os resultados medidos e simulados para cada categoria de consumo. Observaram que para o sistema de iluminação não houve diferença entre os resultados medidos e simulados. Quanto ao consumo dos equipamentos como bombas e elevadores, a diferença entre os valores medidos e simulados foi inferior a 10%. Com relação ao ar condicionado, o consumo de energia atingido na simulação

foi superior ao consumo medido em torno de 8%.

Os consumos mensais de energia elétrica simulados foram comparados com as médias de consumo coletadas junto à distribuidora de energia elétrica. Para obter estes valores, foram considerados dados de um período de três anos, a fim de eliminar algumas anomalias no consumo e medição. As maiores diferenças foram encontradas nos meses temperados (nem muito quentes nem muito frios), em que os sistemas de ar condicionado são ligados e desligados aleatoriamente conforme a vontade dos ocupantes. Nos meses quentes onde foi possível assumir que os sistemas de ar condicionado funcionam de acordo com os horários coletados junto ao pessoal de operação, a diferença entre o simulado e o medido caiu significativamente, ficando sempre abaixo de 10%.

Através de simulações do edifício apresentado, foram avaliadas algumas alternativas de conservação de energia, destacando-se as seguintes:

- Proteção contra a radiação solar: Utilizando película refletora colada ao vidro, com coeficiente de sombreamento (SC) de 50% e transmissividade visível média também de 50%, alcançou uma economia no consumo total de energia de 11,7% e no custo anual desta em torno de 9%. Outra alternativa foi a colocação de vidro duplo, o que proporcionou uma redução no consumo total de energia e no custo anual de 7,5% e 7,7%, respectivamente.

- Utilização de reatores eletrônicos e luminárias eficientes: O consumo dos reatores eletrônicos pode ser próximo de zero, enquanto que nos modelos convencionais é de 50% do valor nominal das lâmpadas. Esta medida permite uma economia no consumo anual de energia de iluminação de 23%. A economia alcançada no consumo total de energia e no custo desta foi em torno de 18%.

- Utilização de iluminação natural: através do controle automático do nível de iluminamento no plano de trabalho (1m do chão), fixado em 550 lux aproximadamente, a iluminação artificial é ligada e desligada em função do aproveitamento da iluminação natural. A economia alcançada com a utilização de iluminação natural foi de 68% no consumo de energia para iluminação. No consumo total e no custo anual da energia, os valores alcançados foram de 32% e 24%, respectivamente.

- Diminuição da área de janela: com a proposta de construção de uma parede de 1 metro de altura, diminuindo assim a área de janela (variando WWR de 1 para 0,66), foi obtida uma economia no consumo total de energia e no custo desta, da ordem de 15% para ambos.

LAMBERTS et al (1994) apresentam ainda uma combinação das modificações dos parâmetros propostos. Consideraram nesta alternativa o controle de iluminação e uso de

luminárias eficientes, a colocação de vidros duplos com película refletiva e a diminuição da área de janelas. Com estas modificações obteve uma economia de 46,4% para o consumo total de energia e de 38,3% no custo anual desta.

Finalmente apresenta uma comparação entre diferentes estruturas tarifárias. Compara por exemplo o uso de tarifa de consumo do grupo A3A de R\$ 0,06361/kWh e demanda de R\$ 4,35/kW, com a horo-sazonal Azul do grupo A3. A economia resultante no custo anual de energia é de 29%.

No capítulo seguinte é realizada a descrição do edifício de escritórios (caso base), utilizado na análise paramétrica desenvolvida neste estudo.

CAPÍTULO 3

DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS

3.1 - Introdução

O fator mais importante para desenvolver modelos de verificação de desempenho energético para edifícios é se ter um profundo conhecimento e compreensão das características físicas e operacionais do edifício a ser modelado. O edifício típico foi desenvolvido para servir como referência no estudo comparativo de desempenho energético, de tal forma que pudesse ser utilizado com o programa simulador DOE-2.1E. Uma análise dos edifícios de escritórios em Florianópolis foi feita através de entrevistas informais junto a seis escritórios de arquitetura para definir as características mais comuns deste tipo de edificação.

Os perfis de cargas e intensidades de uso desses edifícios podem variar substancialmente dependendo de sua configuração, envolvente, utilização e equipamentos. Nas seções a seguir, é descrito o edifício típico e como o mesmo foi desenvolvido. Este edifício foi utilizado nas análises paramétricas do uso de energia. As características construtivas foram definidas para representar a prática construtiva para a cidade de Florianópolis. Os padrões de ocupação e uso, tais como iluminação de teto, iluminação de tarefa, equipamentos de escritório, equipamentos do sistema de ar condicionado e taxa de infiltração, também são mostrados neste capítulo.

3.2 - Descrição do Edifício Típico

Para o edifício típico utilizado nas simulações, foi modelado um prédio comercial de escritórios com 12 andares e 6 salas por andar, conforme mostrado na Figura 3.1. O edifício tem forma retangular com 18 metros de comprimento e 14,5 metros de largura. As salas tem forma quadrada com 6 x 6 metros. Possui ainda uma área de circulação interna com 2,5 metros de largura e 18 metros de comprimento. Todas as salas e circulação possuem pé direito de 2,80 metros. Cada sala possui apenas uma janela, sendo que esta é posicionada de tal forma que ocupe toda a largura da parede, variando apenas a sua altura. Estas janelas ficam posicionadas na mesma fachada, de tal maneira que o edifício tenha duas fachadas opostas e idênticas com janelas e duas fachadas opostas compostas de paredes cegas, ou seja, sem abertura. A Figura 3.2 dá uma visão geral da forma do edifício, sua altura e posicionamento das aberturas.

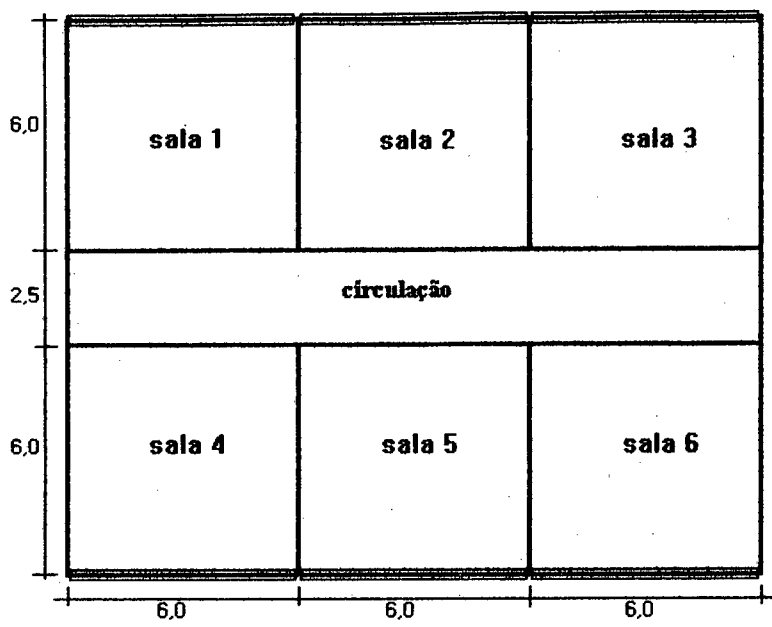


Figura 3.1: Pavimento típico simplificado

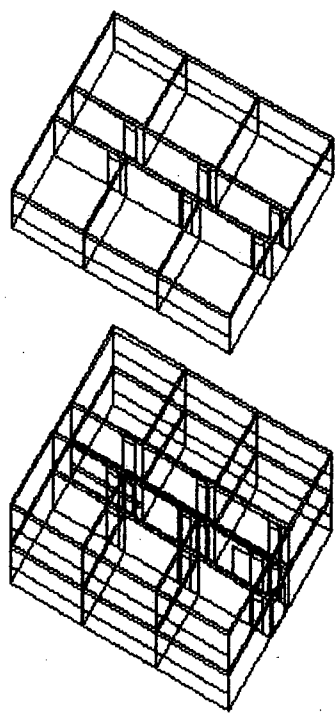


Figura 3.2: Visualização do Edifício Típico

3.2.1 - Características Construtivas do Edifício

Para dar prosseguimento às simulações paramétricas, fez-se necessário montar várias configurações dos elementos construtivos do edifício, variando a composição dos mesmos em função dos materiais utilizados, bem como a sua espessura e posicionamento. Com a definição dos materiais, os componentes construtivos do edifício, tais como paredes e telhados foram definidos a partir de combinações desses materiais. Na Tabela 3.1 são mostradas estas combinações, bem como os valores de transmitância térmica resultantes.

Tabela 3.1 - Valores de Transmitância Térmica dos Elementos da Envolvente do edifício

Composições de paredes e telhados	Transmitância Térmica W/m² °C
Parede 1 = reboco + tij. furado + reboco	2,43
Parede 2 = reboco + bloco de conc. furado + reboco	3,30
Parede 3 = reboco + tij. furado + isolante térmico (2,5cm) + reboco	0,96
Parede 4 = reboco + tij. furado + isolante térmico (5cm) + reboco	0,60
Telhado 1 = telha + câmara de ar + laje + reboco	2,02
Telhado 2 = telha + câmara de ar + isolante térmico (2,5cm) + laje + reboco	0,81
Telhado 3 = telha + câmara de ar + isolante térmico (5cm) + laje + reboco	0,51

3.3 - Parâmetros da Envolvente do Edifício

Uma análise paramétrica foi conduzida com o objetivo de explorar e examinar os fatores relacionados à energia e identificar os parâmetros que mais influenciam no consumo de energia do edifício. Nesta análise todas as principais características e fatores que afetam as cargas de aquecimento e resfriamento foram modificados. Cada um dos parâmetros de entrada foi variado unicamente (um de cada vez), com relação ao caso base. Uma série de simulações foram então desenvolvidas para estudar os efeitos no consumo de energia do edifício. Um resumo dos parâmetros, seus valores máximos e mínimos e do caso base, são mostrados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Parâmetros da Envolvente do Edifício. Valores máximos mínimos e do caso base

PARÂMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO	CASO BASE
Absortividade da parede (α_w)	0,3	0,8	0,3
Absortividade do Telhado (α_R)	0,3	0,8	0,8
Transmitância Térmica da Parede (U_w) (W/m ² °C)	0,60	3,30	2,43
Transmitância Térmica do telhado (U_R) (W/m ² °C)	0,51	2,02	2,02
Coefficiente de Sombreamento (SC)	0,2	1,0	1,0
Razão janela/Parede (WWR)	0,3	0,85	0,5

A absortividade solar é uma propriedade que determina a fração da radiação de onda curta absorvida pela superfície de um elemento construtivo

O valor mínimo da absortividade é atribuído às superfícies claras, como por exemplo com acabamento superficial branco. E o valor máximo é atribuído às superfícies de tons escuros.

A transmitância térmica é definida como sendo o fluxo de calor em regime estacionário dividido pela área e pela diferença de temperatura entre os meios circundantes.

Para a transmitância térmica das paredes, os valores máximos e mínimos correspondem às paredes números 2 e 4 respectivamente. Para o caso base foi adotado a composição de parede número 2, como mostrado na Tabela 3.1.

O termo razão janela/parede (WWR) é uma forma de representar a proporção da área ocupada pela janela com relação à área total da parede. Sendo assim, estes valores podem ser escritos na forma de um valor percentual da área da parede que, no caso é substituída pela janela. Para facilitar a maneira de variação deste parâmetro, foi determinado que a janela ocuparia toda a largura da parede da sala. Deste modo, a variação de WWR fica restrita à variação da altura da janela.

O coeficiente de sombreamento é definido como a razão do ganho de calor solar através de um sistema envidraçado e o ganho de calor solar através de um vidro simples usado como referência, exposto as mesmas condições. Esta razão é uma característica única de cada abertura. É representada por:

$$SC = \frac{\text{Ganho de calor solar da abertura}}{\text{Ganho de calor solar do vidro de referencia}}$$

O coeficiente de sombreamento (SC) tem seus valores obtidos em função do tipo de vidro utilizado e de dispositivos de sombreamento externo ou interno. O valor máximo é atribuído à janela com vidro comum com espessura de 3mm. E o valor mínimo, a uma janela que utiliza um tipo de envidraçamento com características especiais, como por exemplo, vidro refletivo e sombreamento externo.

3.4 - Padrões de Uso e Ocupação do Edifício

Além de especificar as características construtivas do edifício foi necessário também definir como o mesmo funciona, ou seja, definir os horários em que se mantém ocupado e com toda a variedade de equipamentos em funcionamento. Neste item, podemos definir características tais como a potência de iluminação e o tipo de lâmpada e luminária instaladas, tipo e potência dos equipamentos de escritório, características do equipamento de ar condicionado, entre outros.

3.4.1 - Padrão de Uso do Edifício

Por se tratar de um edifício comercial de escritórios, a sua utilização fica restrita aos dias de semana nos períodos da manhã e tarde, e aos sábados somente no período da manhã. A taxa de ocupação utilizada foi a estabelecida pela norma brasileira **NBR 6401 (1980)** que estabelece os parâmetros básicos de conforto para instalações de ar condicionado, ou seja, 8 m² por pessoa, para escritórios privados. As Figura 3.3 (a) e (b) mostram os percentuais de ocupação em função do horário de uso, tanto para os dias de semana como para o sábado. Nos domingos e feriados considera-se que o edifício permanece desocupado.

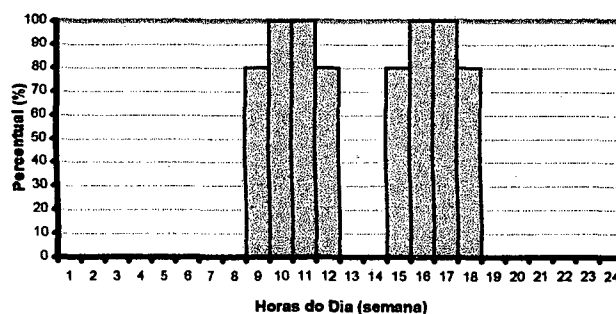


Figura 3.3 (a): "Schedule" de ocupação do edifício nos dias de semana

O ganho de calor é estimado em 132 W por pessoa, de acordo com a Norma **NBR 6401 (1980)**. Esta mesma Norma considera que 56% desta carga térmica é considerada sensível e 44% é considerada como latente.

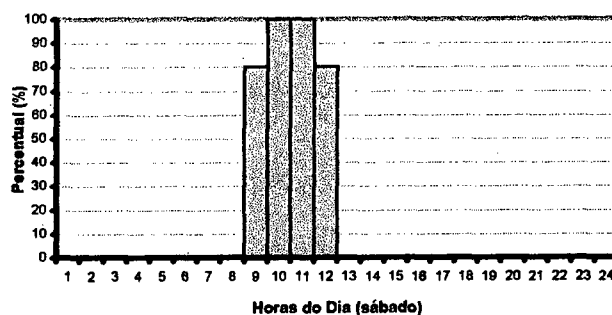


Figura 3.3 (b): “Schedule” de ocupação do edifício no sábado

3.4.2 - Padrão de Uso da Iluminação

ELEY e KENNEDY (1994), em seu estudo para o desenvolvimento do código de edifícios comerciais na Austrália recomendam uma potência de iluminação de $17,2 \text{ W/m}^2$ para escritórios. **LAM e HUI (1993)**, no estudo desenvolvido para Hong Kong, utilizaram 20 W/m^2 para a potência de iluminação. Comparando estes valores com o recomendado pela **NBR 6401 (1980)**, ou seja, 40 W/m^2 , optou-se por adotar uma potência de iluminação de $21,5 \text{ W/m}^2$ ($2,0 \text{ W/ft}^2$), pelo fato de considerar o valor recomendado pela norma brasileira ser muito elevado. A luminária usada é do tipo suspensa para lâmpadas fluorescentes. As Figuras 3.4 (a) e (b) mostram os percentuais de utilização do sistema de iluminação em função da hora do dia.

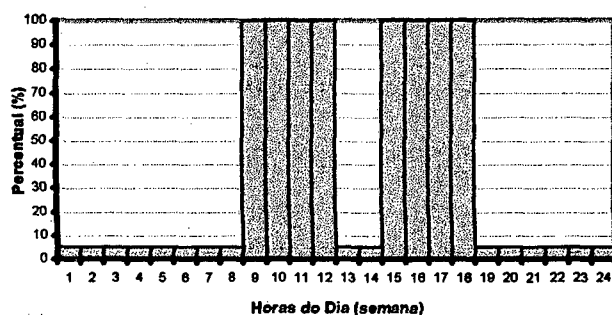


Figura 3.4 (a): “Schedule” de uso da iluminação de teto nos dias de semana

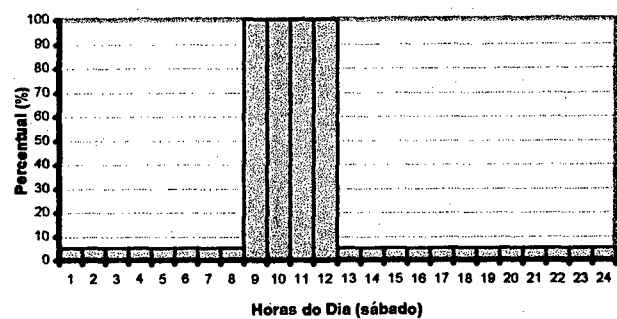
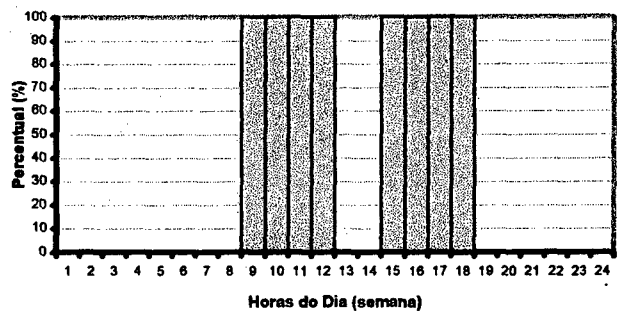


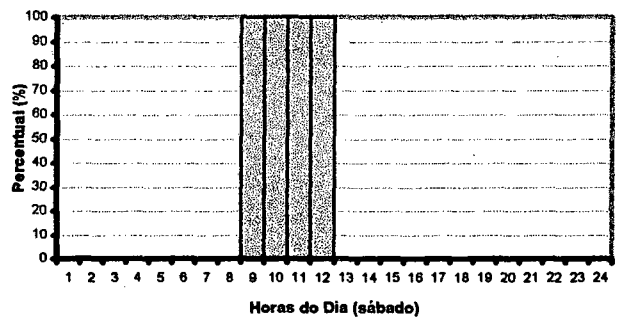
Figura 3.4 (b): “Schedule” de uso da iluminação de teto no sábado

3.4.3 - Padrão de Uso da Iluminação de Tarefa

Para iluminação de tarefa, ou seja, aquela iluminação de uso individual para execução de tarefas específicas, foi estabelecido uma potência de 50 Watts por sala. Sua utilização é definida em função das horas do dia como mostrado nas Figuras 3.5 (a) e (b).



Figuras 3.5 (a): “Schedule” de uso da iluminação de tarefa nos dias de semana



Figuras 3.5 (b): “Schedule” de uso da iluminação de tarefa no sábado

3.4.4 - Padrão de Uso de Equipamentos de Escritório

A fim de determinar qual seria a potência total dos vários equipamentos de escritório, foram feitas algumas considerações quanto ao tipo de equipamento utilizado e horas de uso diferenciados nos modos de operação e “stand by”. Deste modo, foram selecionados como equipamentos um microcomputador, uma impressora, um fax e uma cafeteira. O valor da potência final estimada foi de 823 Watts por sala. Para se chegar a este valor foi estabelecido que aparelhos como fax e impressora estariam ligados no modo “stand by” durante todo o horário de funcionamento do escritório, e apenas durante uma hora nos períodos da manhã e da tarde, no modo de impressão. Do mesmo modo, a cafeteira estaria ligada durante um intervalo de tempo de uma hora pela manhã e uma hora à tarde. O microcomputador, composto basicamente de CPU e monitor, ficam ligados durante o horário de atividade do escritório.

As potências para cada equipamento são as estimadas a seguir:

- cafeteira : 500 W
- microcomputador : 180 W
- fax : 120 W (operação) e 30 W (stand by)
- impressora : 23 W (operação) e 12 W (stand by)

A Tabela 3.3 mostra a combinação de equipamentos nos modos de operação e “stand by”, que resultam nos percentuais de utilização em função da hora do dia, como mostrados nas Figuras 3.6 (a) e 3.6 (b).

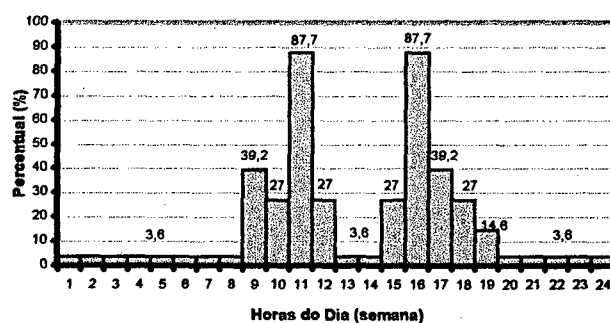


Figura 3.6 (a): “Schedule” de uso dos equipamentos de escritório nos dias de semana

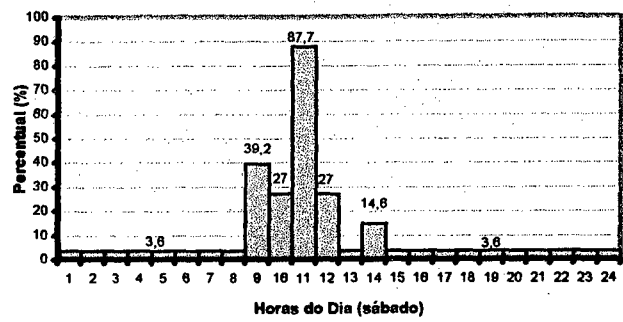


Figura 3.6 (b): “Schedule” de uso dos equipamentos de escritório no sábado

Tabela 3.3: Percentual da potência dos equipamentos em funcionamento

Equipamentos em Funcionamento	Percentual (%)
Fax (stand by)	3,60
Fax (operação), Microcomputador, Impressora (operação)	39,20
Fax (stand by), Microcomputador, Impressora (stand by)	27,00
Fax (stand by), Microcomputador, Impressora (stand by), Cafeteira	87,70
Fax (operação)	14,60

3.4.5 - Taxa de Infiltração

A taxa de infiltração foi fixada em uma renovação de ar por hora devido às frestas. Durante as horas em que o edifício não é utilizado este valor é reduzido para 0,5 renovações por hora, conforme pode ser visto nas Figuras 3.7 (a) e (b).

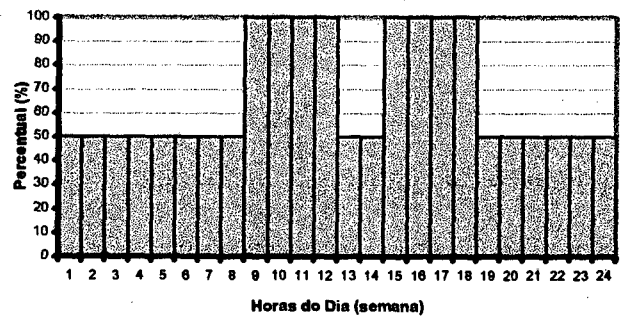


Figura 3.7 (a): Taxas de infiltração de ar nos dias de semana

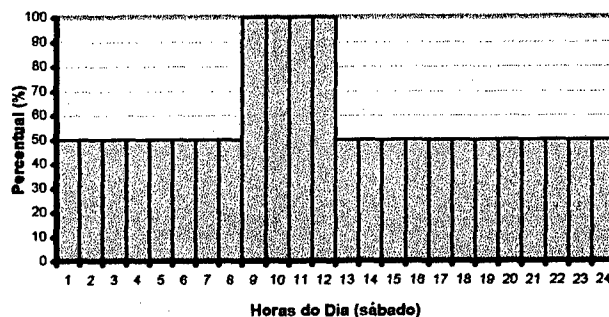


Figura 3.7 (b): Taxas de infiltração de ar no sábado

3.4.6 - Padrão de Funcionamento dos Equipamentos do Ar Condicionado

O equipamento de ar condicionado é dividido em duas partes distintas, o sistema de refrigeração primário, onde se encontra as unidades de resfriamento e aquecimento de água, trocadores de calor, bombas, compressores e outros e o sistema secundário composto basicamente pelas unidades de circulação de água (serpentinhas) e ventiladores. O sistema secundário selecionado é do tipo “Two Pipe Fan Coil” (TPFC). Este tipo de equipamento pode fornecer aquecimento e resfriamento para cada zona individualmente. Entretanto, todas as zonas servidas pelo sistema TPFC devem operar no mesmo modo, ou seja, ou em aquecimento ou em resfriamento.

O sistema TPFC é composto basicamente de uma serpentina de aquecimento/resfriamento, ventilador e filtro. A serpentina é conectada à tubulação do sistema primário que fornece água quente ou fria, de acordo com o modo de operação preestabelecido pelo padrão de uso do equipamento de ar condicionado.

O controle de temperatura é alcançado pela variação do fluxo de água através da serpentina de aquecimento/resfriamento. O termostato de controle geralmente usado para este tipo de sistema possui “setpoints” separados para os modos de resfriamento e aquecimento. Para o modo de resfriamento, as Figuras 3.8 (a) e (b) mostram as temperaturas em que o equipamento de ar condicionado é acionado ou não. O valor adotado de 50 °C indica que para estas horas do dia, o sistema de ar condicionado não será ativado. Durante as horas de ocupação do edifício, o termostato foi regulado em 25 °C. Quando a temperatura ambiente alcançar este valor, o modo de resfriamento do sistema de ar condicionado será ativado.

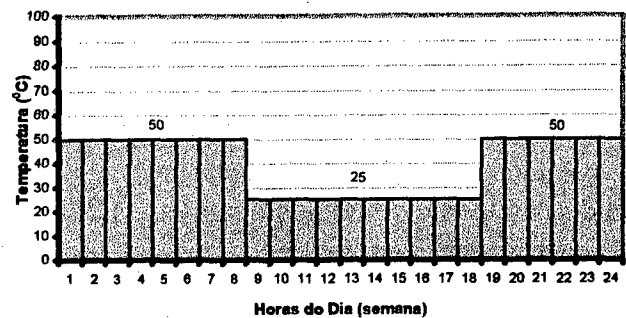


Figura 3.8 (a): “setpoints” do termostato para o modo de resfriamento nos dias de semana

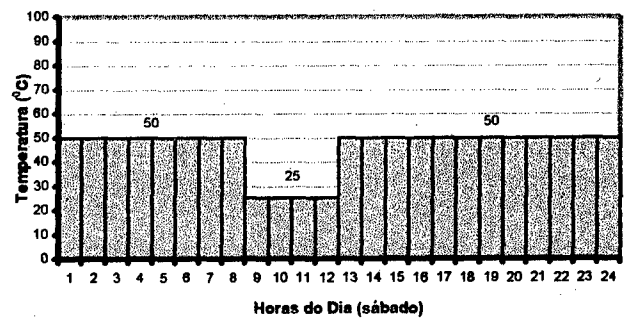


Figura 3.8 (b): “Setpoints” do termostato para o modo de resfriamento no sábado

Para o modo de aquecimento, as Figuras 3.9 (a) e (b) mostram as temperaturas de controle do sistema de ar condicionado. Nas horas do dia em que o termostato está regulado em 0 °C, indicam que neste período o sistema de aquecimento do ar condicionado não será acionado. Durante as horas de ocupação do edifício, o termostato foi regulado em 20 °C. Quando a temperatura ambiente cair até este valor, o modo de aquecimento do sistema de ar condicionado será ativado.

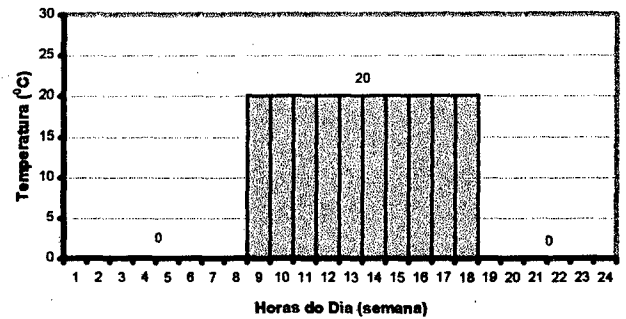


Figura 3.9 (a): “Setpoints” do termostato para o modo de aquecimento nos dias de semana

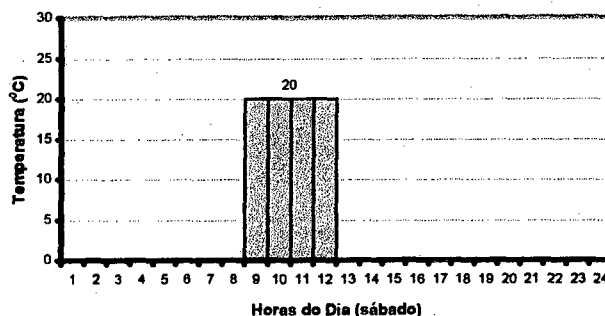


Figura 3.9 (b): “Setpoints” do termostato para o modo de aquecimento no sábado

3.4.7 - Renovação de Ar

O ASHRAE HANDBOOK OF FUNDAMENTALS (1993) cita a recomendação da Norma ASHRAE 62 (1989) para taxas de ventilação mínimas para aplicações mais comuns. Para aplicações gerais, tais como escritórios, é sugerida uma taxa mínima de 36 m³/h por pessoa. Já a Norma NBR 6401 (1980) recomenda valores para o ar de renovação para escritórios privados diferenciados em função da concentração de fumantes. Quando não há concentração de fumantes, o valor da taxa de renovação é de 42 m³/h por pessoa. Quando há concentração de fumantes considerável, o valor recomendado é de 51 m³/h por pessoa, sendo este o valor adotado neste trabalho.

3.4.8 - Potência dos Equipamentos do Programa de Simulação

O programa DOE-2.1E permite ao usuário a escolha entre duas modalidades de definição da potência dos equipamentos utilizados no edifício simulado. Na primeira, o usuário é quem define o tipo de equipamento, o número de unidades instaladas e disponíveis e sua potência, em função da disponibilidade comercial destes. Na segunda alternativa, pode-se optar pelo auto dimensionamento dos equipamentos, a qual foi adotada para este estudo. Neste caso os equipamentos serão dimensionados em função das cargas de pico do edifício, para aquecimento e resfriamento. Sendo assim, o número de equipamentos instalados e conseqüentemente disponíveis, é sempre igual a unidade, mesmo que a capacidade do mesmo não seja comercialmente disponível.

3.5 - Simulando o Edifício Caso Base

No desenvolvimento do estudo paramétrico, fez-se necessário estabelecer um modelo de edifício (caso base), e verificar através da simulação do mesmo, os valores alcançados para as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento de cada componente da envolvente do edifício, bem como os consumos finais de energia elétrica para cada categoria de utilização. As categorias apresentadas são: iluminação, equipamentos de escritório, aquecimento e resfriamento do espaço.

Através dos relatórios de saída do programa DOE-2.1E, pode-se analisar as cargas de resfriamento e aquecimento de forma individualizada para os elementos da envolvente do edifício. “Carga” é definida aqui como sendo a quantidade de calor que deve ser adicionada ou removida do ar contido no espaço, a fim de manter este ar a uma temperatura constante e igual ao valor especificado na instrução “TEMPERATURE” no comando “SPACE-CONDITIONS”. A Tabela 3.4 apresenta os valores das cargas por componente e também a sua participação, em percentual, na carga total do edifício.

A Tabela 3.5 apresenta o consumo anual de energia do edifício de acordo com as categorias de consumo e o percentual de cada um com relação ao consumo total anual de energia.

Tabela 3.4: Cargas Anuais de Resfriamento e Aquecimento do Edifício

COMPONENTES #	CARGAS ANUAIS DO EDIFÍCIO			
	CARGA DE RESFRIAMENTO		CARGA DE AQUECIMENTO	
	(MWh)	(%)	(MWh)	(%)
PAREDES	27,302	3,13	-35,064	92,03
TELHADO	25,542	2,93	-3,084	8,10
JANELAS (CONDUÇÃO)	-22,290	-2,55	-26,298	69,02
JANELAS (RADIAÇÃO SOLAR)	409,193	46,89	19,748	-51,83
PISOS	-3,750	-0,43	-4,691	12,31
OCUPANTES (SENSÍVEL)	58,747	6,73	3,287	-8,63
OCUPANTES (LATENTE)	40,003	4,58		
ILUMINAÇÃO	146,556	16,79	10,840	-28,45
EQUIPAMENTOS (SENSÍVEL)	57,914	6,64	3,949	-10,36
EQUIPAMENTOS (LATENTE)	14,736	1,69		
INFILTRAÇÃO (SENSÍVEL)	2,411	0,28	-6,787	17,81
INFILTRAÇÃO (LATENTE)	116,247	13,32		
TOTAL	872,611	100,00	-38,100	100,00
SENSÍVEL	701,625	80,41		
LATENTE	170,986	19,59		

Tabela 3.5: Desempenho Energético do Edifício

	CONSUMO ANUAL DE ENERGIA ELÉTRICA		
	(kWh)	kWh/m ² /ano	(%)
ILUMINAÇÃO	157449	50,27	32,49
EQUIPAMENTOS	77350	24,70	15,96
AQUECIMENTO	6038	1,93	1,25
RESFRIAMENTO	193193	61,68	39,86
CALOR REJEITADO	26546	8,48	5,48
EQUIP. AUX. HVAC (Bombas)	13961	4,45	2,88
EQUIP. AUX. HVAC (Ventiladores)	10110	3,23	2,09
TOTAL	484647	154,74	100,00

TOLEDO (1995) em seu estudo, apresentou consumos de edifícios de escritórios para algumas cidades brasileiras. Em Porto Alegre este consumo é de 145,56 kWh/m² ano e em São Paulo foi de 204,00 kWh/m² ano. Comparando estes valores com o do caso base (Florianópolis), pode-se considerar que o consumo apresentado por este é satisfatório.

As principais características observadas são resumidas a seguir:

- O consumo anual de energia para resfriamento é predominante no consumo total de energia do edifício, contribuindo com 50,31% deste (incluindo ventiladores e bombas). A energia de aquecimento tem participação pequena no consumo total, sendo esta de apenas 1,25%, em função das características climáticas da região em estudo.
- As cargas básicas, como iluminação e equipamentos, às quais não dependem das condições climáticas, contribuem com 48,45% do consumo total de energia elétrica do edifício. Nos itens a seguir são mostradas as participações de alguns fatores que influenciam no consumo total de energia do edifício, mas que não foram abordados neste trabalho, em virtude destes não estarem relacionados com a envolvente do edifício.

3.5.1 - Influência da Potência de Iluminação no Consumo de Energia do Caso Base

A potência de iluminação adotada neste estudo foi de 21,5 W/m² (2 W/ft²), apesar da norma brasileira NBR 6401 (1980), recomendar 40 W/m². A Figura 3.10 mostra a variação do consumo de energia em função da potência de iluminação.

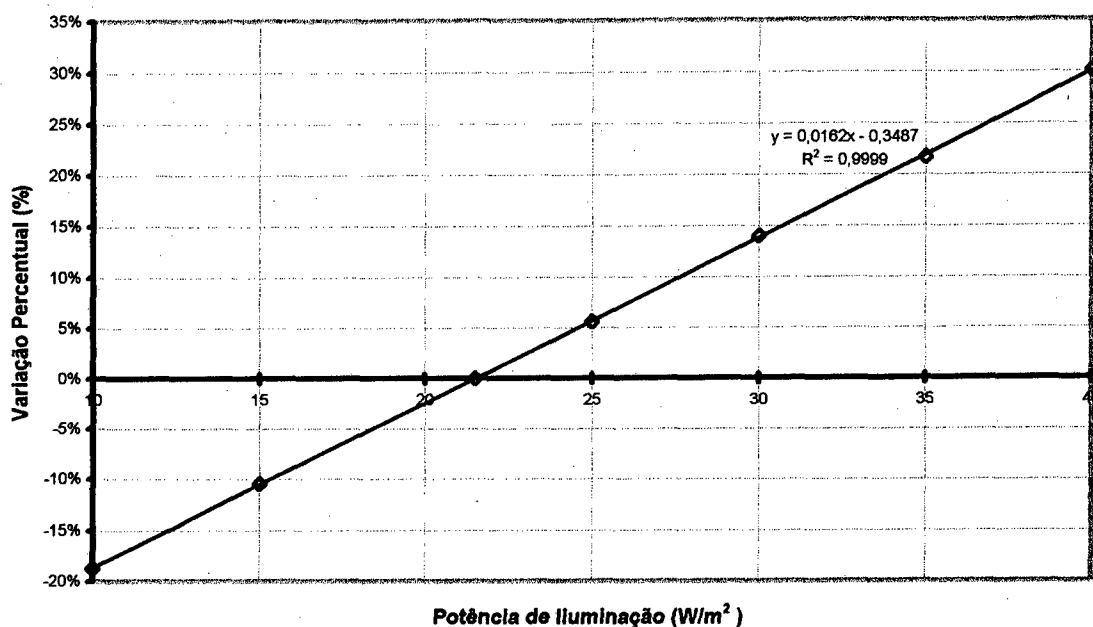


Figura 3.10: Variação percentual da Potência de Iluminação no Consumo de Energia do Caso Base

Observa-se um aumento de 30% no consumo final de energia no edifício quando se compara o valor adotado no caso base (21,5 W/m²) com o valor indicado pela norma brasileira. BUSCH (1992) em seu estudo, menciona a existência de opções de sistemas de iluminação que utilizam menos de 10 W/m² e que mesmo assim, mantém níveis de iluminação adequados. Isto se deve ao fato de que o tipo de lâmpadas e luminárias utilizadas atualmente permitem uma economia considerável em função destas apresentarem maior eficiência.

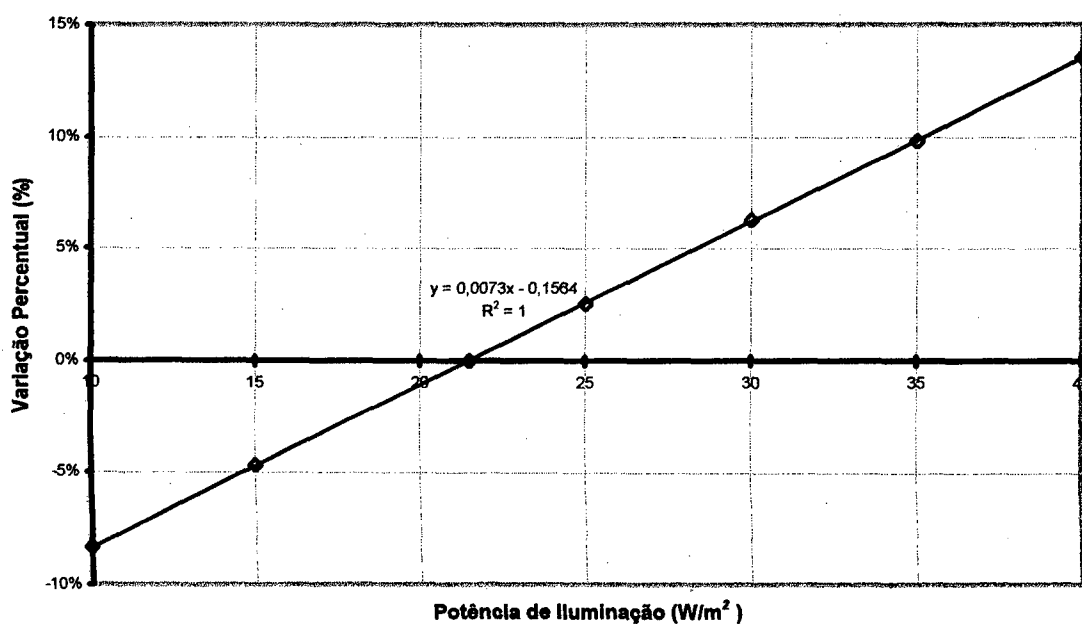


Figura 3.11: Influência da Potência de Iluminação na Carga de Resfriamento do Caso Base

Observa-se ainda na Figura 3.10 que para uma potência de iluminação de 10 w/m^2 o consumo de energia foi reduzido em 18,70%, quando comparado com o caso base. Com relação às cargas de resfriamento, observa-se na Figura 3.11 que, para a potência de iluminação indicada pela norma brasileira NBR 6401 (1980), ocorreu um acréscimo de 13,50% com relação ao caso base. O acréscimo no consumo de energia é maior do que nas cargas de resfriamento devido ao fato do sistema de iluminação ter participação direta naquele, além de contribuir para o aumento das cargas de resfriamento do edifício.

3.5.2 - Influência do Número de Trocas de Ar por Infiltração no Consumo de Energia do Caso Base

O número de trocas de ar por infiltração foi analisado para o caso base a fim de verificar a influência deste parâmetro no desempenho térmico-energético do edifício.

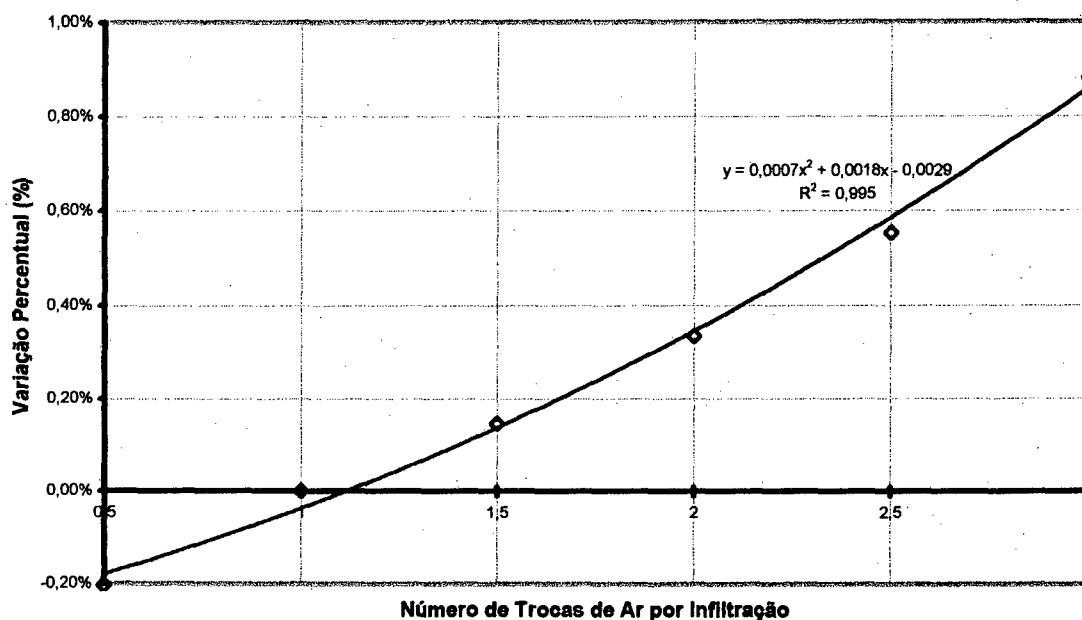


Figura 3.12: Influência do Número de Trocas de Ar por Infiltração no Consumo Final de Energia do Caso Base

A Figura 3.12 mostra a variação no consumo de energia em função do número de trocas de ar por infiltração. Observa-se que, mesmo quando este parâmetro é duplicado, quando comparado com o caso base (1 troca de ar por infiltração), a variação no consumo de energia é insignificante, não atingindo a 0,4%.

3.5.3 - Influência do Número de Renovações de Ar no Consumo de Energia do Caso Base

A norma **NBR 6401 (1980)** recomenda um número de renovações de ar equivalente a $51 \text{ m}^3/\text{h}$ por pessoa, em função de considerável concentração de fumantes. Se for considerada a recomendação da Norma **ASHRAE 62 (1989)**, ou seja, $36 \text{ m}^3/\text{h}$ por pessoa, a economia no consumo de energia se aproxima de 6%, conforme mostra a Figura 3.13. O valor recomendado pela norma ASHRAE não considera a presença de fumantes em recintos fechados, em virtude da proibição desta prática nos Estados Unidos.

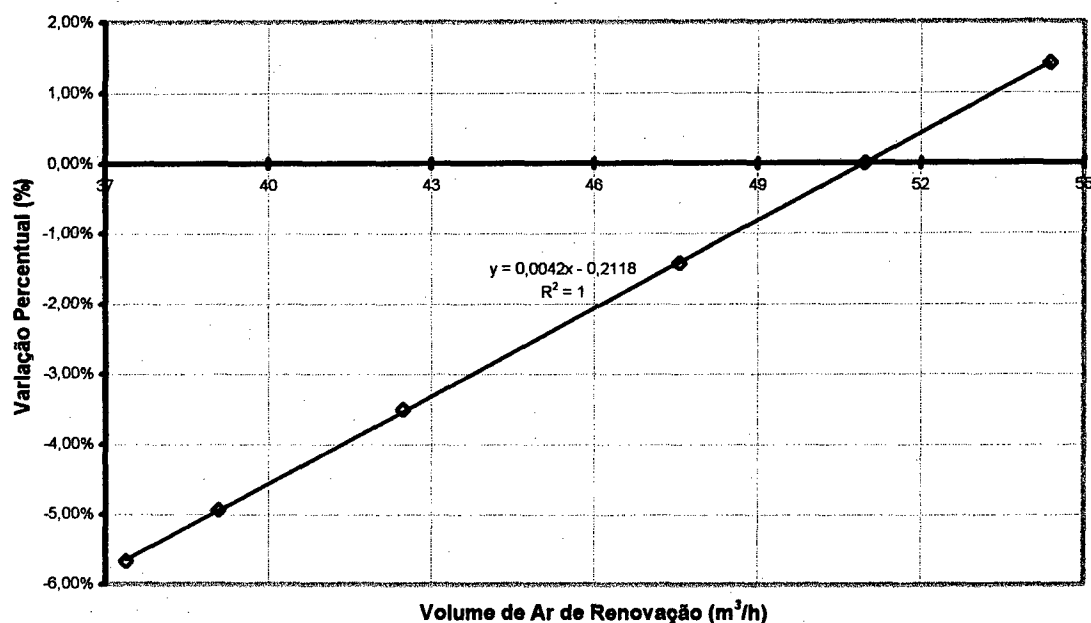


Figura 3.13: Influência do Volume de Ar de Renovação no Consumo Total de Energia do Caso Base

3.5.4 - Influência da Orientação da Fachada Principal do Edifício no Consumo de Energia do Caso Base

Ao analisar a influência da orientação da fachada principal (com janelas) do Caso Base, observa-se na Figura 3.14, que a maior variação no consumo de energia se dá quando o edifício está posicionado com sua fachada principal voltada para o leste, atingindo a 5%, em

relação ao caso base que tem sua fachada principal voltada para o norte. As outras duas fachadas apresentam valores intermediários de consumo, ficando a variação em torno de 3% para ambas. Baseado nestes resultados, a análise energética foi feita apenas em relação às orientações norte e leste.

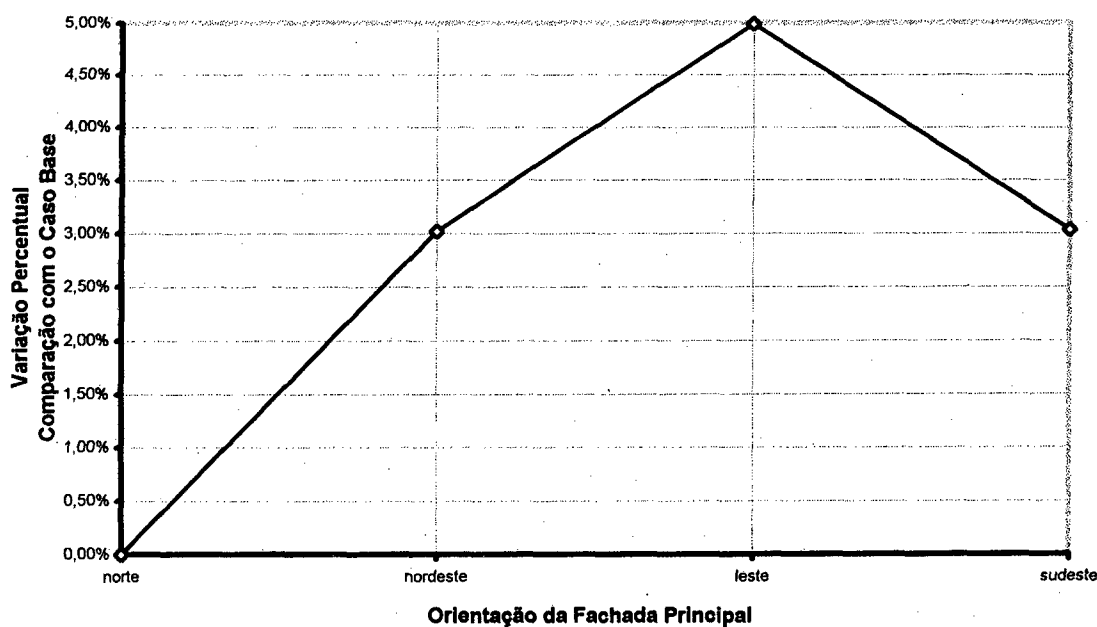


Figura 3.14: Influência da Orientação do Edifício no Consumo Total de Energia do Caso Base

3.6 - Conclusões

Ao analisar a influência de alguns fatores que influenciam no consumo total de energia do edifício, mas que não foram abordados neste trabalho, em virtude destes não estarem relacionados com a envolvente do edifício, pode-se chegar as seguintes conclusões:

- A densidade de potência de iluminação tem influência significativa no consumo de energia do edifício. A economia alcançada em função da redução desta de $21,4 \text{ W/m}^2$ para 10 W/m^2 foi de 18,7%, estando de acordo com os resultados obtidos por BUSCH (1992).
- O número de trocas de ar por infiltração não teve influência significativa na variação do consumo de energia, sendo inferior a 0,4%.
- A variação da taxa de renovação de ar de 14 l/s (adotado) para 10 l/s causou uma redução de 5,6% no consumo de energia.

- Quanto a orientação da fachada principal (com janelas) do edifício, mudar a sua posição para o leste, causou um acréscimo de 5% no consumo de energia. **GÓMEZ e LAMBERTS (1995)** em seus estudos, observaram variações em torno de 4%, quando variaram a orientação do edifício da direção norte/sul para leste/oeste.

No capítulo a seguir, são analisadas as variações no consumo de energia e nas cargas térmicas de resfriamento do edifício para um período de um ano, em função de variações nos parâmetros analisados.

CAPÍTULO 4

SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS

4.1 - Introdução

Foram executadas uma série de simulações paramétricas, variando os seis parâmetros relacionados com a envolvente do edifício, além da orientação do mesmo. Por se tratar de um prédio simétrico, o mesmo foi simulado com suas janelas voltadas para orientações diferentes: norte-sul, leste-oeste, noroeste-sudeste e nordeste-sudoeste.

O número de variações dos parâmetros obedece a seguinte ordem: 3 valores para o coeficiente de sombreamento das aberturas (0,2; 0,6 e 1,0); 4 valores para a razão janela/parede (0,3; 0,5; 0,7 e 0,85); 4 valores para a transmitância térmica das paredes (3,30; 2,43; 0,96 e 0,60); 3 valores para a transmitância térmica do telhado (2,20; 0,81 e 0,51); 2 valores para a absorvidade da parede (0,3 e 0,8) e 2 valores para a absorvidade do telhado (0,3 e 0,8).

Os valores analisados a partir destas simulações são as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento, bem como os valores de consumo de energia do edifício para um período de 1 ano. As cargas de aquecimento e resfriamento são obtidas dos relatórios LS-F, que fornece as cargas totais para o edifício inteiro de acordo com a fonte, ou seja, são apresentadas as cargas provenientes do telhado, paredes e janelas entre outras.

Os consumos anuais de energia do edifício são mostrados no relatório BEPU, que permite uma visualização geral e imediata destes consumos, em função das categorias de utilização, ou seja, iluminação, equipamentos de escritório, aquecimento e resfriamento dos espaços condicionados.

Os resultados obtidos foram analisados preliminarmente com o objetivo de se fazer uma seleção dos valores dos parâmetros que causaram maior impacto na carga térmica de resfriamento e também no consumo final de energia elétrica do edifício.

Considerando-se que o objetivo deste estudo foi definido como sendo o de analisar a influência dos elementos da envolvente do edifício nos valores finais de consumo de energia e nas cargas térmicas de resfriamento, os parâmetros envolvidos nas simulações foram analisados em função das alterações provocadas nos mesmos. Nos itens a seguir, estas mudanças são mostradas e os resultados obtidos em função destas, analisados.

4.2 - Influência do Tamanho das Janelas (WWR) e do Coeficiente de Sombreamento (SC) no Consumo de Energia do Edifício.

A janela atua no edifício como um elemento que durante as horas do dia, em que incide sobre ela a radiação solar direta ou difusa, permite o acesso ao ambiente de uma grande quantidade de calor na forma de radiação. O vidro é transparente à grande parte da radiação solar incidente, mas é opaco à radiação de ondas longas proveniente do calor emitido pelas superfícies e objetos localizados no interior da sala. Desta forma, o sistema janela funciona como sendo uma estufa, ou seja, permite a entrada de calor e ao mesmo tempo, dificulta sua saída.

O primeiro parâmetro a ser analisado foi então a razão entre áreas janela/parede. Mantendo-se constante os demais parâmetros, o tamanho da janela foi variado desde o seu menor valor ($WWR = 0,3$), até a sua dimensão máxima ($WWR = 0,85$). Em seguida foi adotado um novo valor para o coeficiente de sombreamento do sistema janela e uma nova sequência de simulações foram executadas, variando apenas o fator WWR. Desta forma, todas as combinações possíveis relacionando o tamanho das janelas com o coeficiente de sombreamento das mesmas, foram obtidas e simuladas.

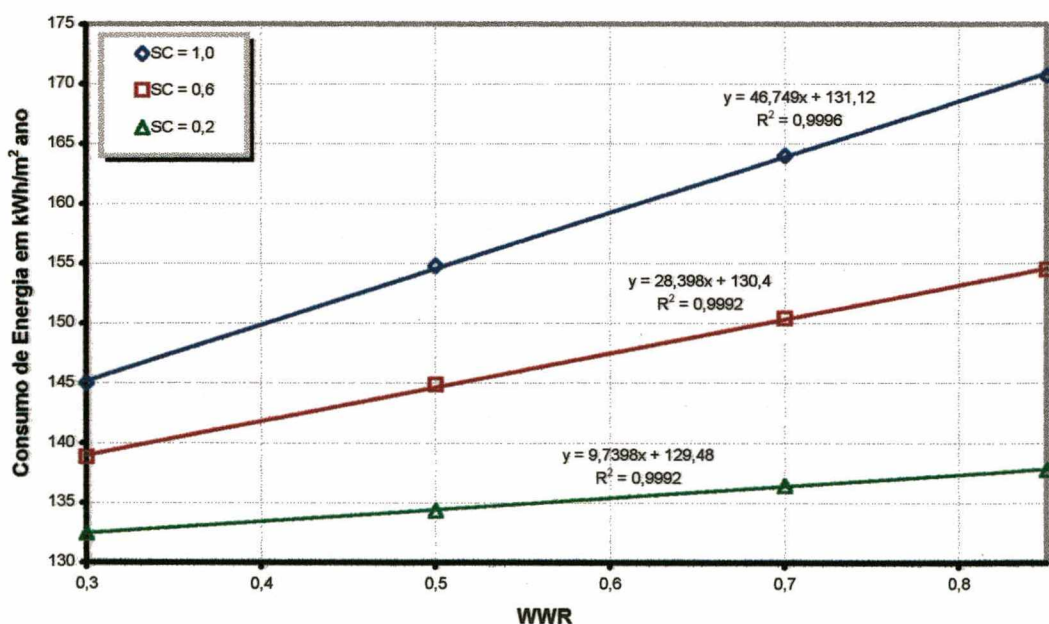


Figura 4.1: Variação do Consumo de Energia em Função da Variação do Tamanho das Janelas

A Figura 4.1 mostra os consumos de energia por metro quadrado de área construída em função da razão entre áreas janela/parede (WWR) para cada coeficiente de sombreamento utilizado. São mostradas as curvas para SC = 0,2; SC = 0,6 e SC = 1,0.

A Figura 4.2, representa a simulação do edifício com sua fachada principal (janelas) voltada para a orientação Norte. São comparadas as alternativas de projeto onde variam o tamanho das janelas, para cada coeficiente de sombreamento estipulado. Considerando como referência o consumo de energia do caso base (154,74 kWh/m² ano), o qual possui coeficiente de sombreamento (SC) igual a 1,0 e a razão entre áreas janela/parede igual a 0,5, algumas observações podem ser feitas, de acordo com o comportamento das curvas obtidas.

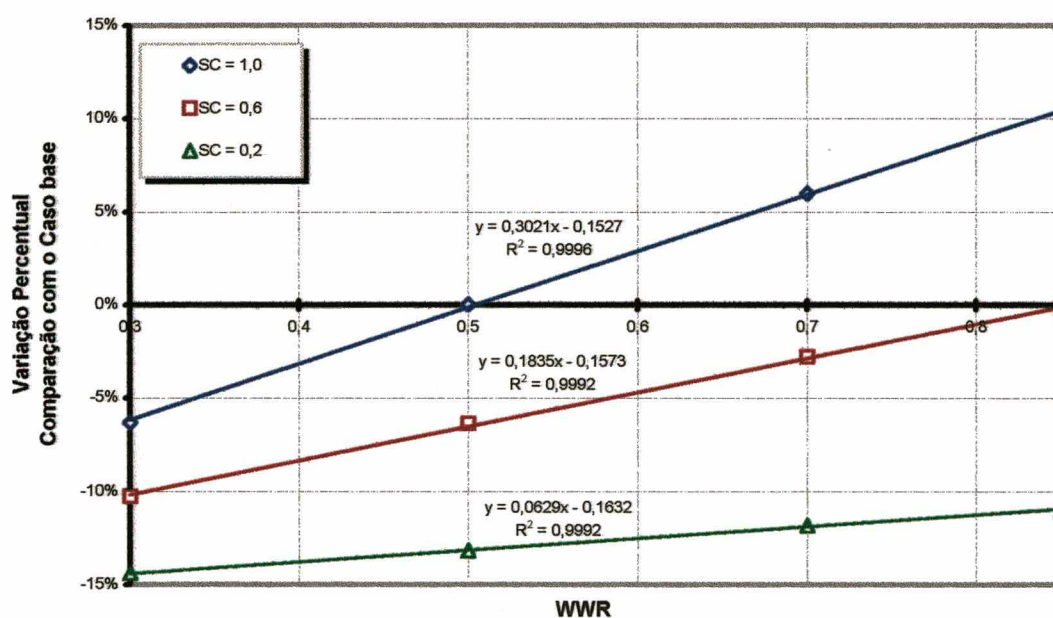


Figura 4.2: Variação Percentual do Consumo de Energia em Função do Tamanho das Janela Comparação com o Caso Base - Fachada Norte.

Aumentando o tamanho das janelas, quando o coeficiente de sombreamento for igual a 1,0, o acréscimo no consumo de energia do edifício pode chegar a 10%. Quando o coeficiente de sombreamento for igual a 0,6, o consumo de energia sofre uma redução em torno de 7%. Se o coeficiente de sombreamento (SC) for igual a 0,2, a economia de energia obtida ultrapassa a 13%. Mesmo quando a razão entre áreas janela/parede (WWR) é igual a 0,85, a economia alcançada no consumo de energia não é inferior a 11%.

A seguir foram analisados os mesmos parâmetros, ou seja, WWR e SC, mas agora com a fachada principal do edifício orientada para o leste. Observa-se na Figura 4.3 que, quando o

coeficiente de sombreamento da abertura é igual a 0,6 , a razão entre áreas janela/parede (WWR) não deve ultrapassar a 0,64 , para que o consumo de energia não supere o Caso Base. Quando o coeficiente de sombreamento for de 1,0 , nota-se um aumento em torno de 5% em relação ao caso base, que utiliza o mesmo coeficiente de sombreamento, mas com as janelas voltadas para a orientação norte. Quando o coeficiente de sombreamento da janela for de 0,2 , as variações nos valores de consumo de energia são pequenas, chegando a 4,4% quando WWR é variado de 0,3 até 0,85.

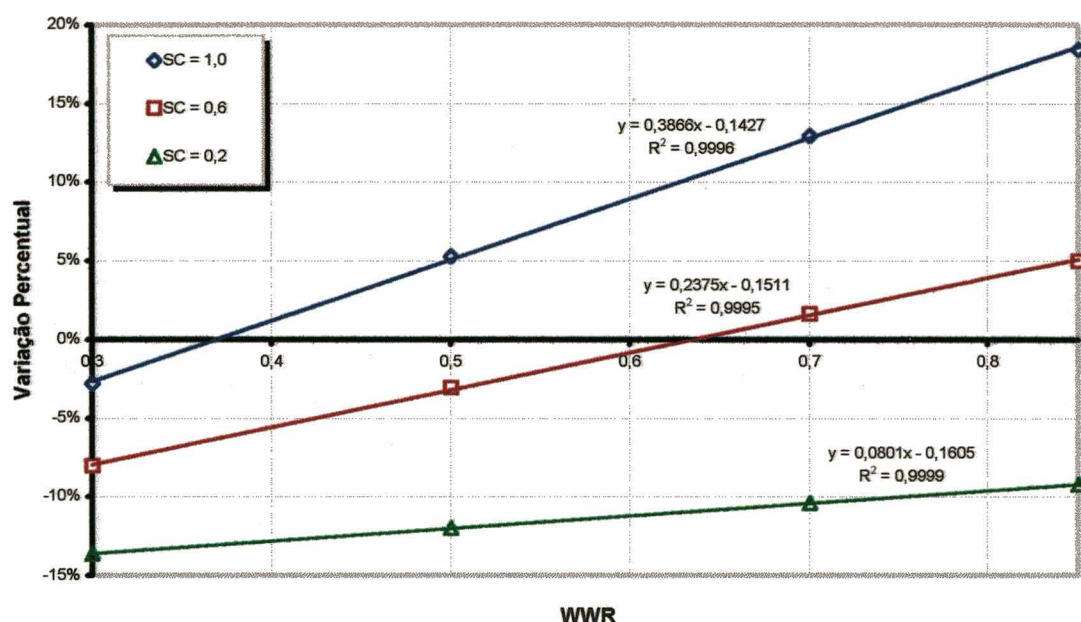


Figura 4.3: Variação Percentual do Consumo de Energia em Função do Tamanho das Janela Fachada Leste.

A Figura 4.4 mostra a variação do consumo de energia do edifício em função da variação do coeficiente de sombreamento da abertura (SC). As curvas apresentadas são para as razões entre áreas janela/parede (WWR) utilizadas nas simulações. Os valores de consumo de energia são os mesmos apresentados na Figura 4.1, para a mesma combinação de parâmetros, mudando apenas o enfoque, ou seja, enquanto na primeira entra-se com os valores de WWR para a obtenção do consumo de energia, nesta agora, entra-se com os valores de coeficiente de sombreamento SC.

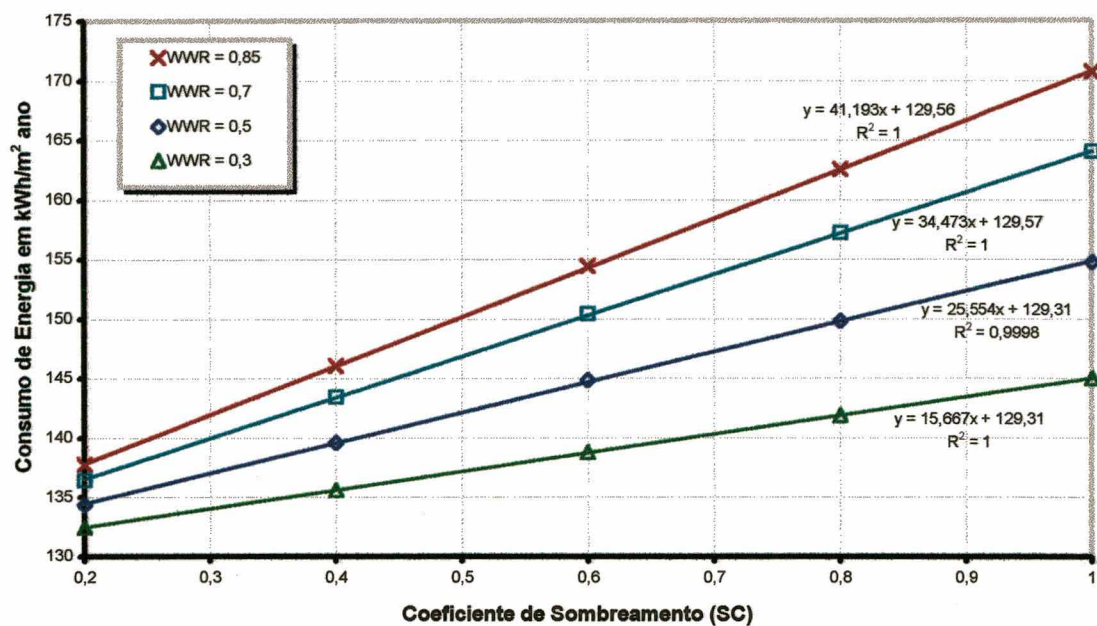


Figura 4.4: Variação do Consumo de Energia em Função da Variação do Coeficiente de Sombreamento

As variações percentuais do consumo de energia, comparadas com o Caso Base, em função dos coeficientes de sombreamento, são mostradas na Figura 4.5, quando o edifício tem sua fachada principal orientada para o norte.

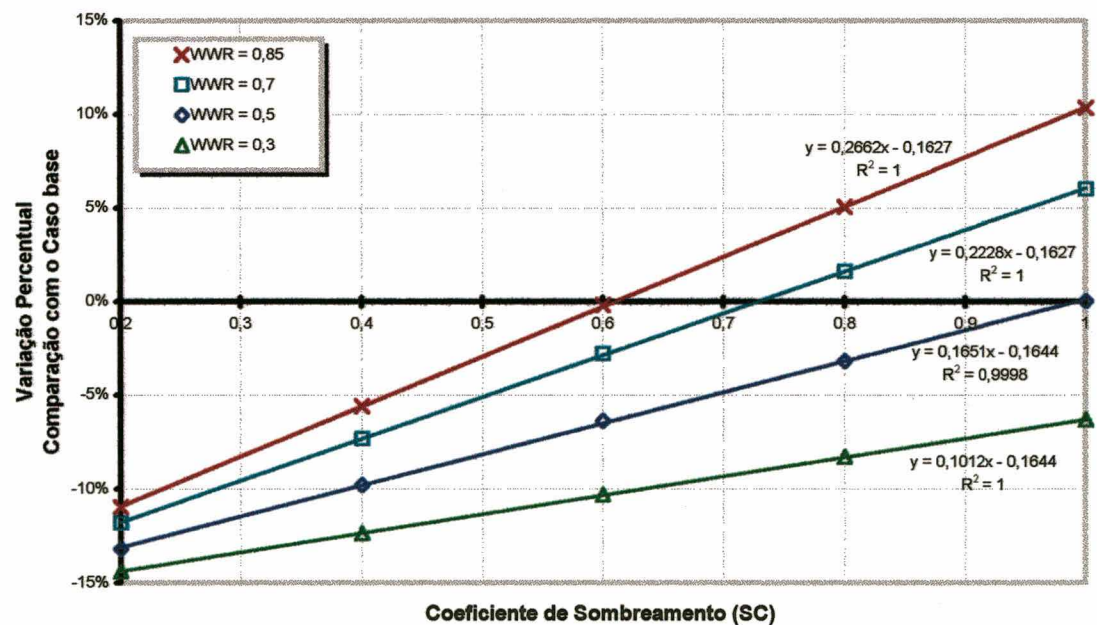


Figura 4.5: Variação Percentual do Consumo de Energia em Função do Coeficiente de Sombreamento - Comparação com o Caso Base - Fachada Norte

Neste gráfico a análise energética é feita a partir da definição do tamanho das janelas. Por exemplo, se a janela adotada ocupa 85% da área de parede externa, esta deverá apresentar um coeficiente de sombreamento igual a 0,6 , para que apresente um consumo de energia equivalente ao caso base. Se o tamanho da janela for limitado a 70% da área de parede externa, o coeficiente de sombreamento desta não deve ultrapassar a 0,73. Quando a razão entre áreas janela/parede é igual a 0,3 , não existe necessidade de controle de ganhos solares. O desempenho energético apresentado é sempre inferior ao do caso base, ou seja, em torno de 6% quando $SC = 1,0$ e chegando próximo de 15% para $SC = 0,2$.

Analisando as mesmas combinações de parâmetros citadas acima, mas com o edifício tendo sua fachada principal orientada para o leste, observa-se na Figura 4.6, que as variações no consumo de energia em função da mudança de orientação são maiores quando o coeficiente de sombreamento for igual a 1,0.

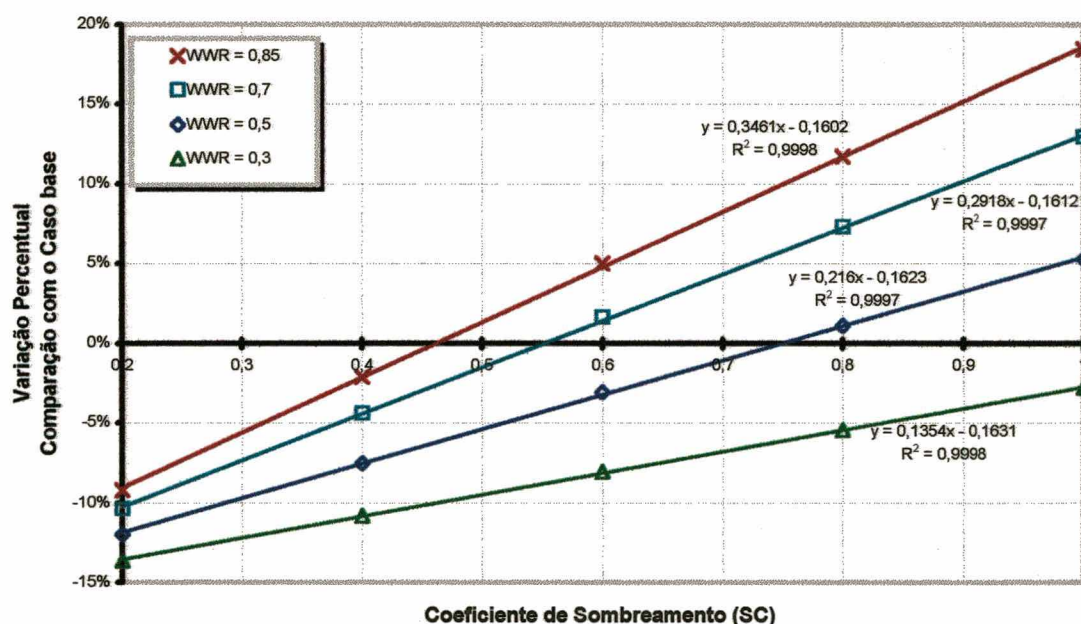


Figura 4.6: Variação Percentual do Consumo de Energia em Função do Coeficiente de Sombreamento - Fachada Leste.

Quando se compara o caso base com uma alternativa de projeto em que foi combinado a razão entre áreas janela/parede (WWR) igual a 0,85 e coeficiente de sombreamento (SC) igual a 1,0 , o aumento no consumo de energia ultrapassa os 18%. Deste modo, se observa uma diferença de 8%, quando for modificado apenas a orientação do edifício. Para o coeficiente de sombreamento igual a 0,2 , a diferença entre os consumos de energia é inferior a 2%, com a mudança de orientação.

4.3 - Influência do Tamanho das Janelas (WWR) e do Coeficiente de Sombreamento (SC) nas Cargas Térmicas de Resfriamento do Edifício

Uma análise semelhante foi feita com relação às cargas de resfriamento do edifício. A variação destas em comparação com o caso base podem ser vistas nas Figuras 4.7 e 4.8, em função da orientação da fachada principal do edifício (fachada com janelas), ou seja, norte e leste.

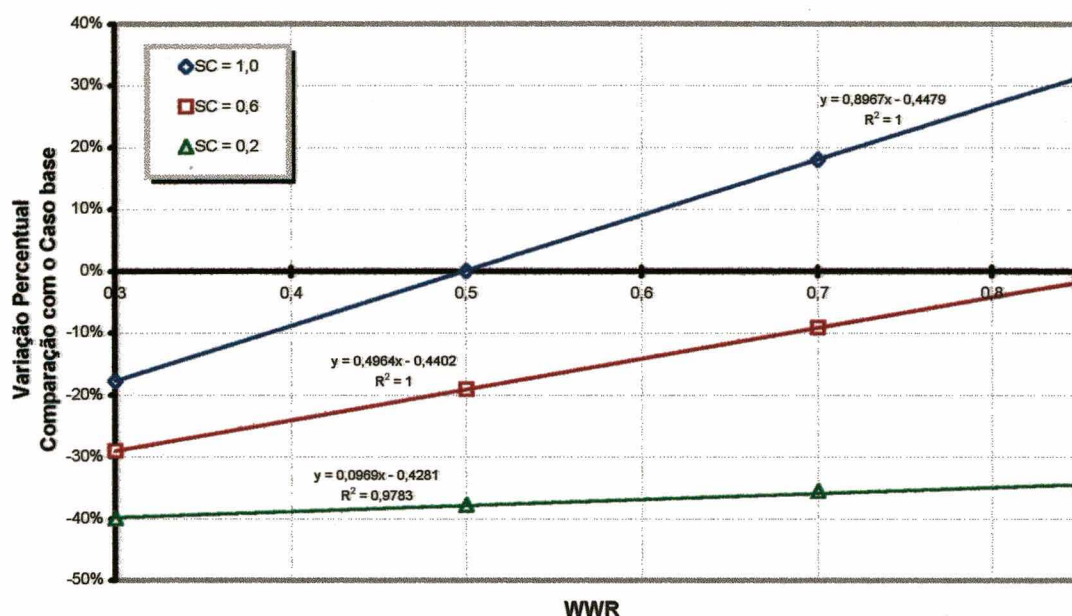


Figura 4.7: Variação Percentual das Cargas Térmicas de Resfriamento em Função do Tamanho das Janelas- Comparação com o Caso Base - Fachada Norte

De acordo com o comportamento das linhas apresentadas, observou-se que quanto menor for o coeficiente de sombreamento das aberturas, menos influência este apresentou em relação às dimensões das mesmas. Para o caso base, foi utilizado um coeficiente de sombreamento igual a 1,0 e a proporção entre áreas janela/parede, igual a 0,5. Pode-se obter uma abertura maior que apresente o mesmo desempenho térmico, desde que seja adotado um tipo de abertura com coeficiente de sombreamento menor do que 1,0. Se o coeficiente de sombreamento for igual a 0,6, a janela poderia ter as dimensões máximas permitidas neste estudo, ou seja, um WWR igual a 0,85. Analisando a Figura 4.8, que mostra a variação no desempenho termo-energético do edifício quando este têm sua fachada principal voltada para o leste, observa-se que as limitações para as dimensões da janela são maiores. Quando o

coeficiente de sombreamento da abertura é igual a 0,6 , para que a mesma tenha o mesmo rendimento apresentado para a fachada norte, não pode ocupar mais do que 77% da área de parede, ou seja, $WWR = 0,77$. Foi observado também que quanto maior é o coeficiente de sombreamento, maiores são as diferenças nas variações das carga térmicas de resfriamento. Para uma abertura com coeficiente de sombreamento igual a 1,0 ocorreu uma variação de 11%, quando comparadas as duas fachadas, isto é, janelas voltadas para o norte e para o leste.

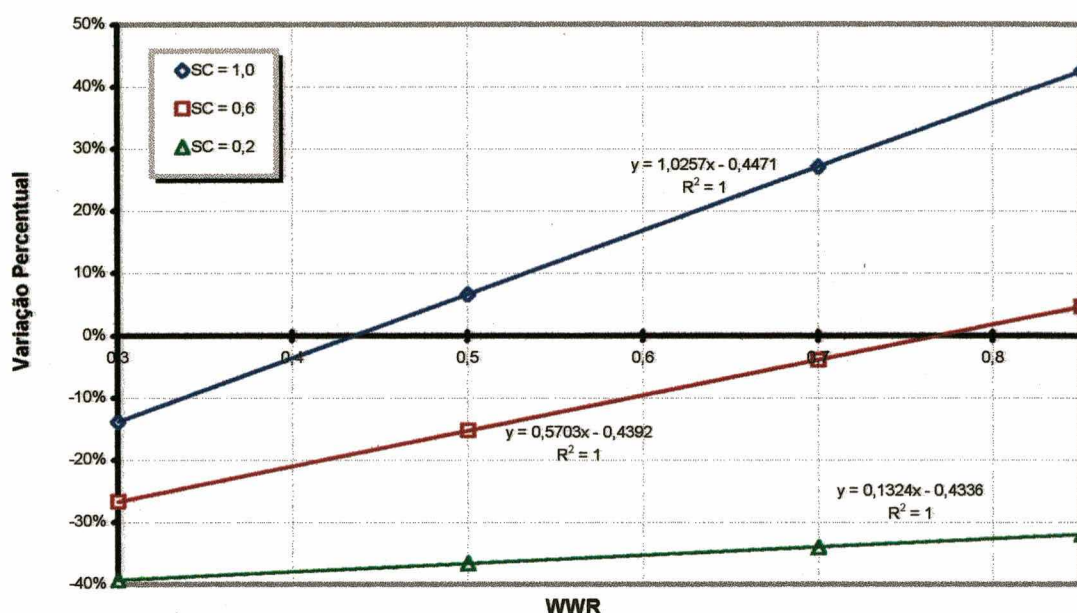


Figura 4.8: Variação Percentual das Cargas Térmicas de Resfriamento em Função do Tamanho das Janelas - Fachada Leste

Nas Figuras 4.9 e 4.10, a variação no desempenho térmico das aberturas foi feita em função do coeficiente de sombreamento (SC).

Observar que quando o coeficiente de sombreamento é baixo (0,2), as cargas térmicas de resfriamento sofrem uma redução próxima de 40%, independente do tamanho da abertura e da orientação da fachada principal. Para valores de coeficiente de sombreamento próximos de 1,0 , qualquer janela com área superior a 50% da área de parede, provocou maior crescimento na carga térmica de resfriamento. Quando o edifício com a configuração do Caso Base foi simulado com sua fachada principal voltada para o leste, a carga térmica de resfriamento sofreu um acréscimo de 6,4% em relação à orientação norte. Pode-se dizer que, para um edifício com estas características, e para que o acréscimo na carga de resfriamento seja

evitado, ou adota-se um coeficiente de sombreamento igual a 0,88 ou então a área de janela deve ser inferior a 50% da área de parede.

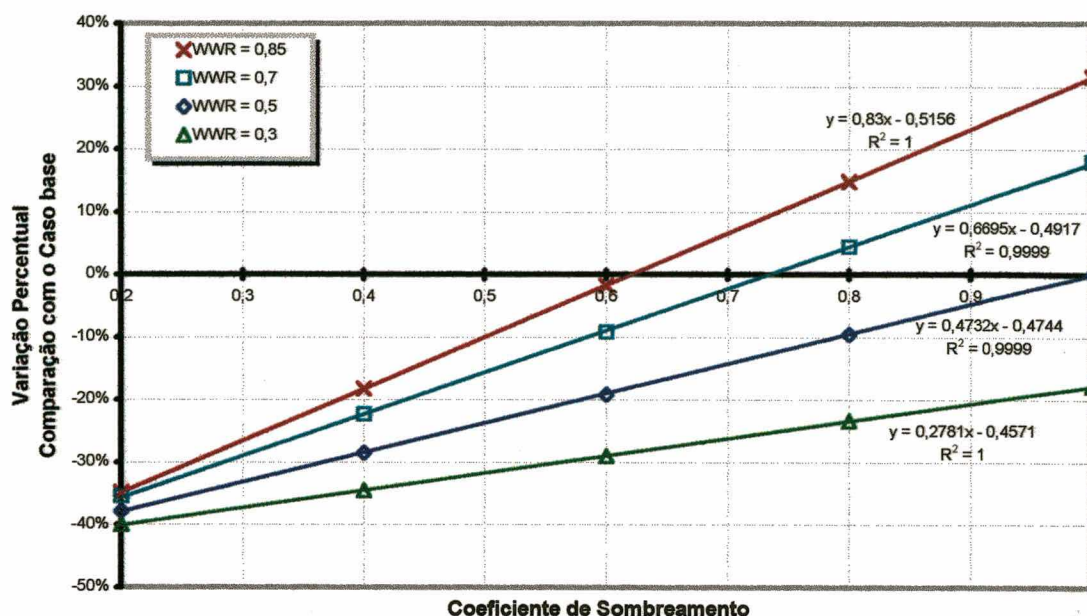


Figura 4.9: Variação Percentual das Cargas de Resfriamento em Função do Coeficiente de Sombreamento. Comparação com o Caso Base -Fachada Norte.

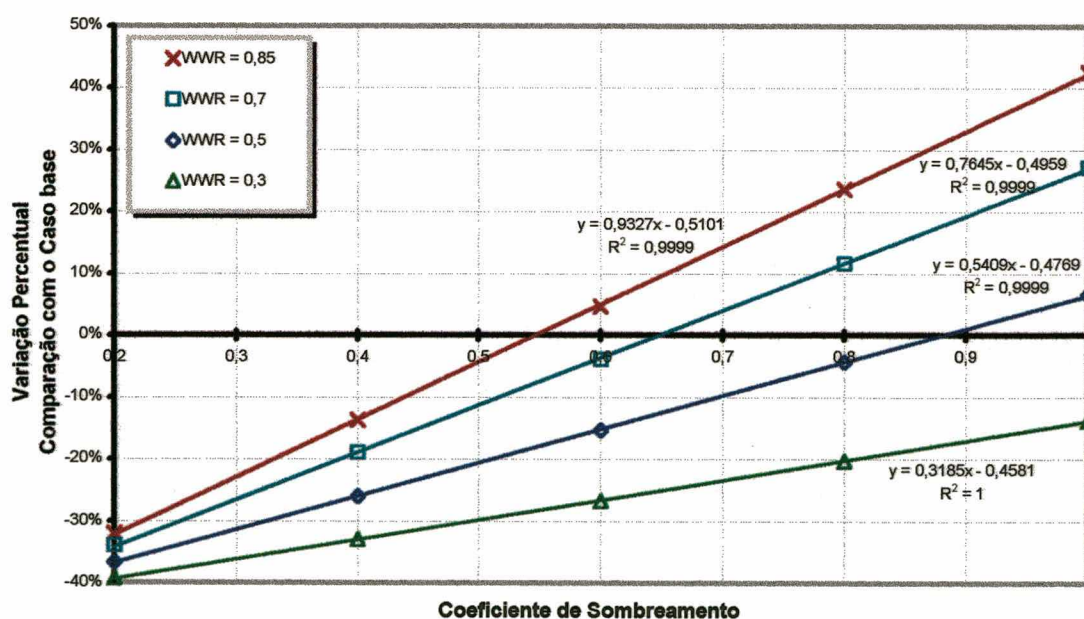


Figura 4.10: Variação Percentual das Cargas de Resfriamento em Função do Coeficiente de Sombreamento - Fachada Leste.

4.4 - Influência da Absortividade (α_w) das Paredes no Consumo de Energia do Edifício

Nas simulações do edifício típico (caso base), foi estabelecido que as paredes apresentam acabamento superficial de cor clara (gelo ou branco) que corresponde a absorptividade igual a 0,3. Sendo assim, qualquer outro valor atribuído para a absorptividade das paredes, resultou em acréscimo na energia consumida pelo edifício. A Figura 4.11 mostra as variações ocorridas no consumo de energia com relação ao caso base, para o edifício com sua fachada principal orientada para o norte e para o leste.

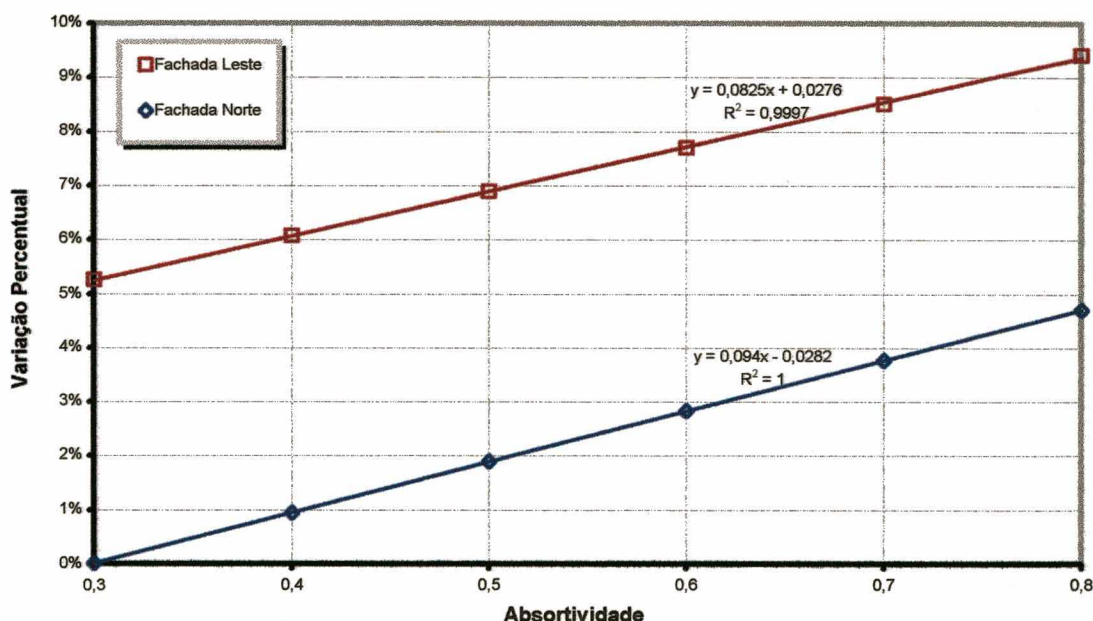


Figura 4.11: Variação Percentual do Consumo de Energia em Função da Absortividade das Paredes

As variações observadas no consumo de energia, quando a absorptividade varia do valor mínimo adotado ($\alpha_w = 0,3$) até o máximo ($\alpha_w = 0,8$), foram em torno de 4,5%, independente da orientação da fachada principal do edifício, para WWR = 0,5.

4.5 - Influência da Absortividade das Paredes na Carga Térmica de Resfriamento do Edifício

Quando se analisa as cargas de resfriamento, as variações que ocorrem em função da absortividade das paredes são maiores, se comparadas com as variações no consumo de energia. Através da Figura 4.12, observa-se que a variação na carga térmica de resfriamento atinge a 13,8%, quando comparados os casos em que a absortividade é igual a 0,8 com o caso base, onde o valor da absortividade é 0,3.

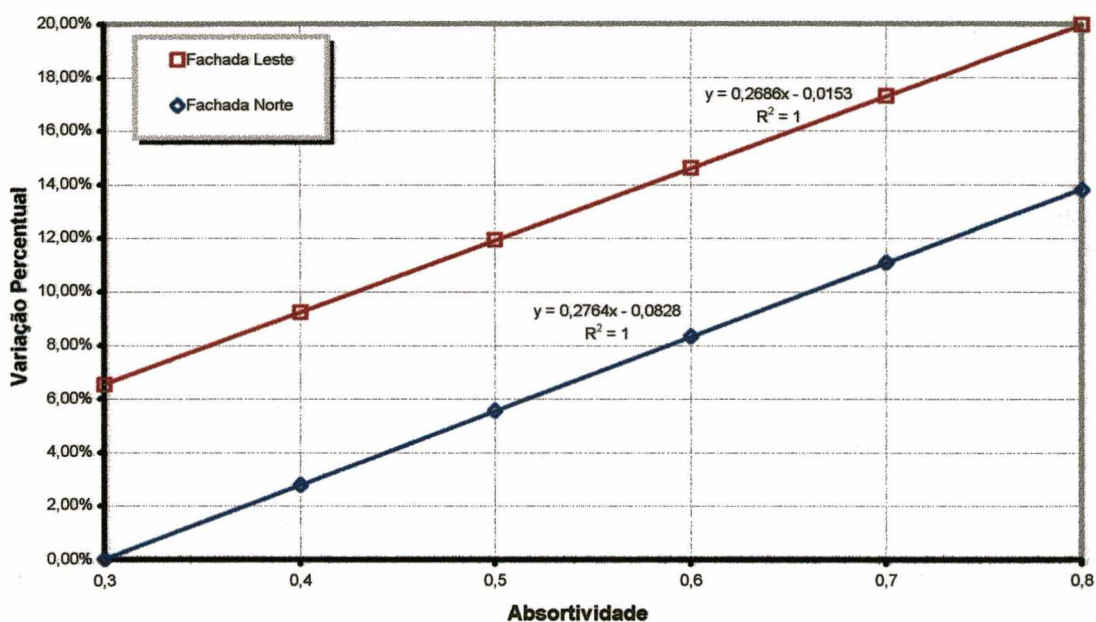


Figura 4.12: Variação Percentual da Carga Térmica de resfriamento em Função da Absortividade das Paredes

A modificação da absortividade das paredes é uma alternativa de economia de energia relativamente simples de ser executada, porque na maior parte das vezes, basta mudar o tom da pintura de acabamento externo do prédio. Este tipo de medida pode ter seu custo quase que nulo, se for implementada num período de reforma e manutenção do mesmo. Desta forma, o percentual de economia alcançado (4,7%) é bem significativo.

4.6 - Influência da Transmitância Térmica das Paredes no Consumo de Energia do Edifício

Ao analisar a variação no consumo de energia do edifício em função da variação dos valores de transmitância térmica das paredes, se observou a pequena influência deste parâmetro na análise energética do edifício. Como pode ser visto na Figura 4.13, quando todos os parâmetros são mantidos constantes, com exceção da transmitância térmica das paredes, a variação no consumo de energia foi sempre inferior a 0,5%, mesmo quando a orientação do prédio (fachada principal) foi mudada de norte para leste.

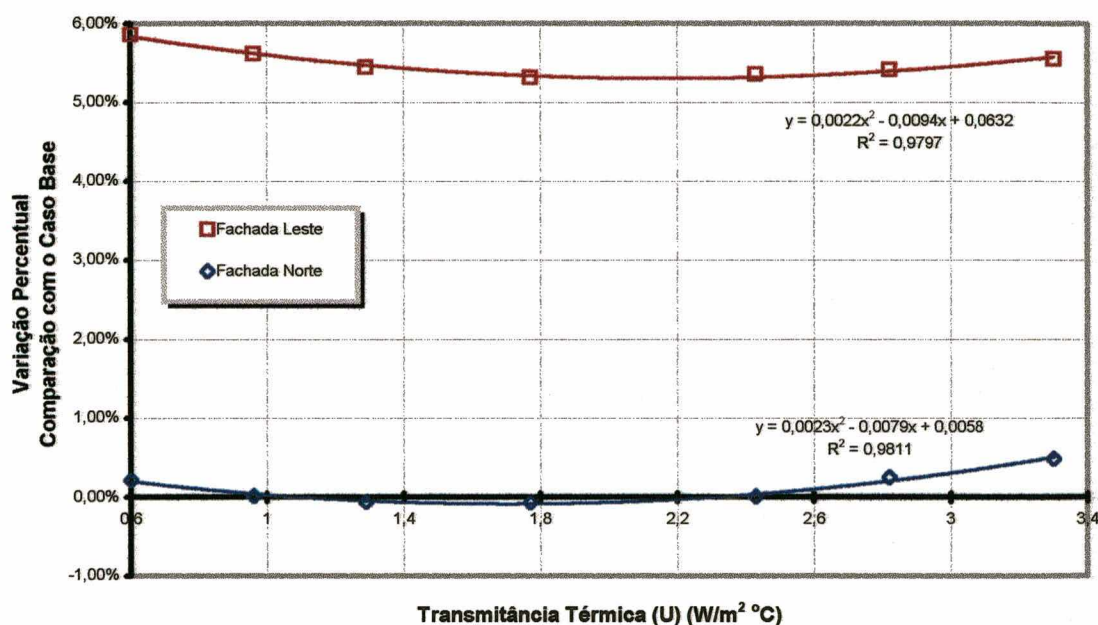


Figura 4.13: Variação Percentual do Consumo de Energia do Edifício em Função da Transmitância Térmica das Paredes

Deste modo, não apresenta nenhuma vantagem a colocação de camada isolante em paredes, quando a característica predominante da região estudada é de clima ameno no inverno e quente no verão e quando as cargas internas são elevadas.

Em edifícios de escritórios, que tem seu funcionamento restrito às horas do dia, o uso de isolantes térmicos nas paredes vem a dificultar a saída do calor proveniente dos padrões de uso e ocupação, mais do que o fluxo de calor externo, originário da radiação solar e da diferença de temperatura interior/exterior.

4.7 - Influência da Transmitância Térmica das Paredes na Carga Térmica de Resfriamento do Edifício

Ao analisar as cargas térmicas de resfriamento, observa-se na Figura 4.14 que as variações também são pequenas, quando foi variado o valor de transmitância térmica das paredes do edifício. A diferença entre os valores extremos adotados nas simulações foi de 2,7%. Se comparado com o caso base ($U_w = 2,43 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$), a alternativa de projeto com menor transmitância térmica ($U_w = 0,60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$), apresenta redução na carga de resfriamento de apenas 1,6%.

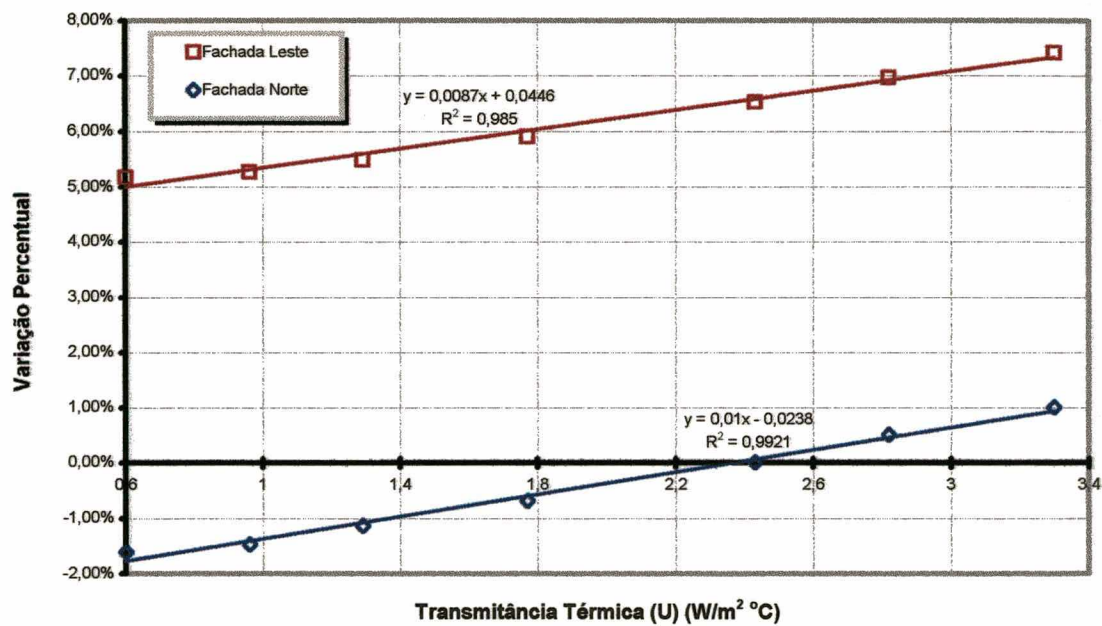


Figura 4.14: Variação Percentual da Carga de Resfriamento em Função da Transmitância Térmica das Paredes

A variação, tanto nas cargas de resfriamento como no consumo de energia do edifício, é pouco influenciada pela composição das paredes. Isto se deve ao fato de ser a janela o elemento por onde pode ocorrer um fluxo de calor mais intenso, principalmente na forma de radiação solar. A parede se comporta mais como um elemento de fuga do calor interno devido aos sistemas de uso e ocupação do ambiente do que como um elemento de ganho de calor externo.

4.8 - Influência da Transmitância Térmica do Telhado no Consumo de Energia do Edifício

Devido à sua posição relativa no edifício, o telhado se caracteriza como sendo o elemento da envolvente externa mais exposto à radiação solar. Em edifícios altos, como o utilizado neste estudo, sua influência fica restrita praticamente ao último pavimento. Já em edifícios térreos, o seu desempenho é decisivo para a manutenção das condições de conforto do ambiente interno. Na Figura 4.15 é mostrado a variação no consumo de energia do edifício em função da transmitância térmica do telhado.

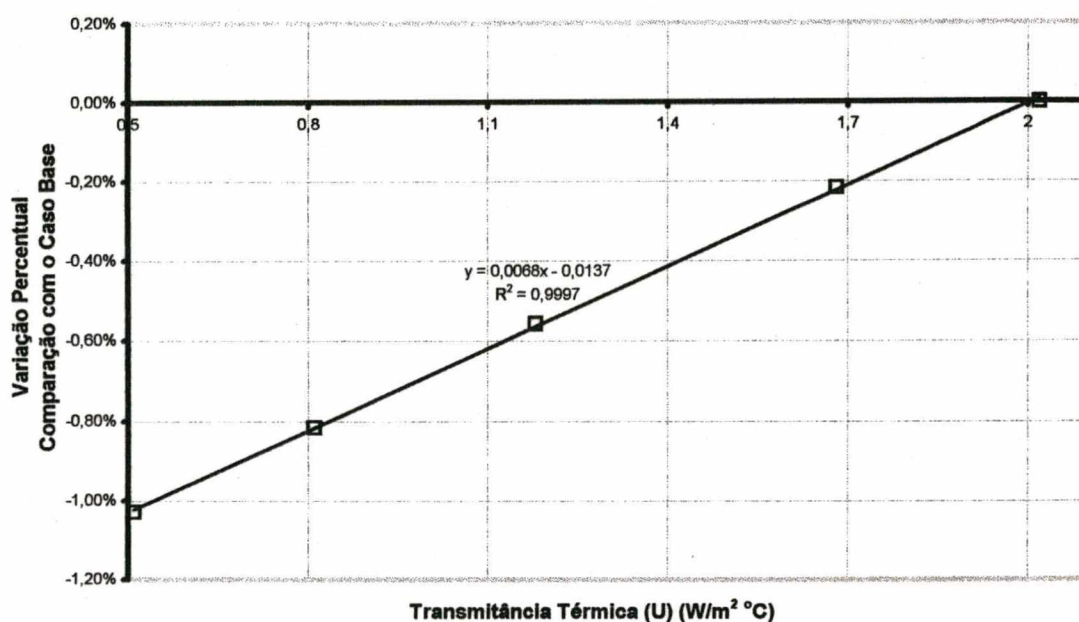


Figura 4.15: Variação Percentual do Consumo de Energia em Função da Transmitância Térmica do Telhado - Comparação com o Caso Base

Se comparados os casos extremos, esta fica em torno de 1%. Observa-se que a redução é pequena, mas bastante significativa se comparada proporcionalmente com o comportamento das paredes, visto que a área de telhado é muito menor que a área de paredes, para o edifício estudado. Para edifícios térreos, em que a área de telhado é bem maior do que a área de paredes, a participação do telhado no consumo de energia para resfriamento certamente será mais significativo.

4.9 - Influência da Absortividade do Telhado no Consumo de Energia do Edifício

O telhado do edifício Caso Base teve sua absorptividade fixada em 0,8, caracterizando-o como de cor escura, o que pode ser atribuído a quase não existência de manutenção e limpeza destes, a não ser em casos extremos, quando ocorre infiltração de água pelo mesmo. Observa-se na Figura 4.16 que, quando simulado o mesmo edifício, mas com telhado de tonalidade clara e limpo, ocorreu uma redução no consumo de energia por volta de 1,3%.

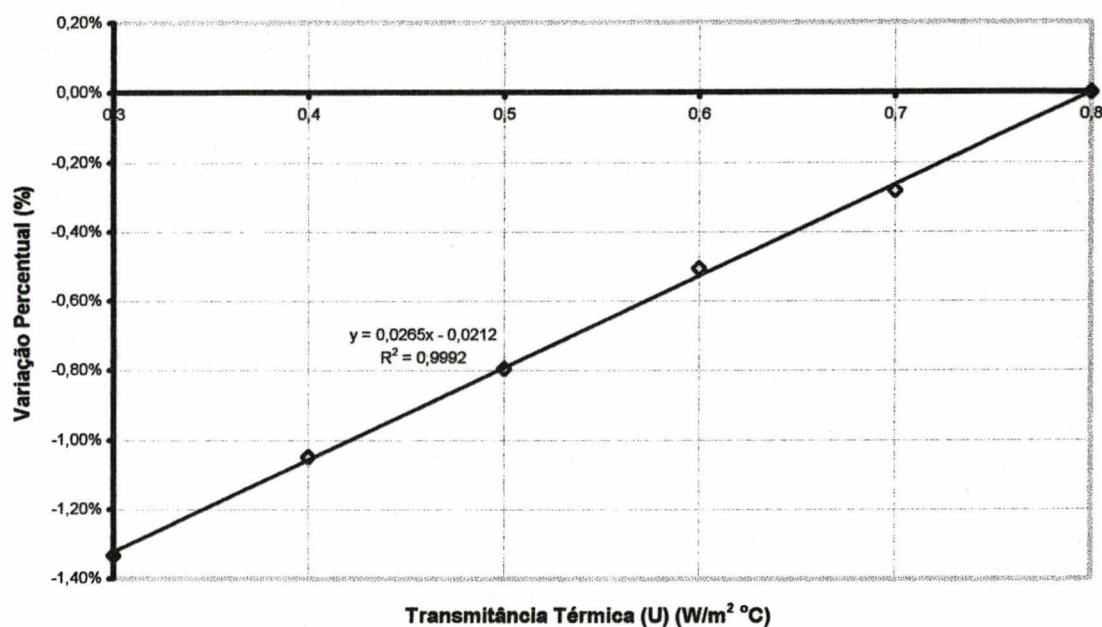


Figura 4.16: Variação Percentual do Consumo de Energia em Função da Absortividade do Telhado

Destaca-se a importância de medidas conservativas relacionadas ao telhado, já que neste caso sua influência é limitada devido à sua área ser pequena, quando comparada com a área total do edifício. Neste caso, destaca-se também a simplicidade de tal medida, pois a mesma pode ser associada ao processo de manutenção e limpeza do edifício.

4.10 - Uma Análise da Influência do Telhado no Consumo de Energia em Edifícios Térreos

Ao contrário do que foi observado para edifícios altos, onde a influência do telhado fica restrita ao último pavimento, observou-se que quando o edifício possui apenas o pavimento térreo, medidas de conservação de energia relacionadas ao telhado, mostraram resultados significantes.

Através da simulação de um edifício térreo, com as mesmas características da envolvente do caso base, foi observado a influência do telhado no comportamento energético do mesmo. A Figura 4.17 mostra a variação no consumo de energia em função da transmitância térmica do telhado e da absortividade do mesmo.

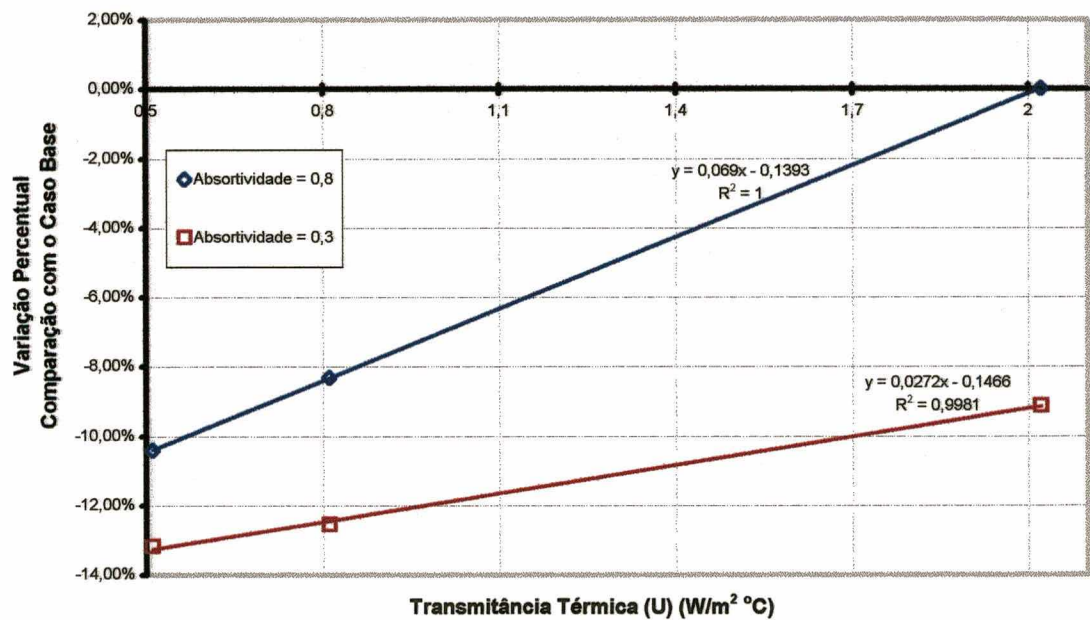


Figura 4.17: Variação Percentual do Consumo de Energia em Função da Transmitância Térmica e da Absortividade do Telhado

Observou-se que quando a transmitância térmica do telhado era igual a 0,51 W/m² °C, a redução no consumo de energia foi de 10,4%, se comparado com a configuração da envolvente do caso base, que possui telhado com transmitância térmica igual a 2,02 W/m² °C e absortividade igual 0,8.

Para absortividade igual a 0,3 a variação no consumo de energia ficou em 4,1%, quando comparados as alternativas com transmitâncias térmicas de 2,02 e 0,51 W/m² °C.

4.11 - Conclusões

Através dos gráficos apresentados nas seções anteriores, observou-se que nem todas as variáveis envolvidas na parametrização, apresentaram variações significativas no consumo de energia do edifício. Entre os parâmetros analisados destacaram-se o coeficiente de sombreamento das aberturas e a razão entre áreas janela/parede como sendo os que provocaram as maiores variações. Com relação às paredes, apenas a absortividade causou variações significativas no consumo de energia. Para edifícios comerciais de escritórios com cargas internas elevadas como o analisado neste estudo, o uso de isolante térmico nas paredes a fim de variar o valor da transmitância térmica das mesmas, não apresentou resultados significativos.

Baseado nestas observações, são apresentadas tabelas que relacionam o coeficiente de sombreamento das aberturas e a razão entre áreas janela/parede com a absortividade e a orientação da fachada principal do edifício. Os valores definidos nestas tabelas limitam o consumo de energia do edifício analisado ao consumo de energia apresentado pelo caso base (154,74 kWh/m² ano).

Através da Tabela 4.1 obtêm-se os valores máximos da razão entre áreas janela/parede em função do coeficiente de sombreamento, para as orientações norte e leste e absortividades 0,3 e 0,8.

Tabela 4.1: Valores de WWR em Função do Coeficiente de Sombreamento da Abertura, da Absortividade das Paredes e da Orientação da Fachada Principal em Relação ao Caso Base

Orientação	SC									
	0,2		0,4		0,6		0,8		1,0	
	N	L	N	L	N	L	N	L	N	L
Valor máximo de WWR ($\alpha_w = 0,3$)	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,64	0,64	0,48	0,5	0,37
Valor máximo de WWR ($\alpha_w = 0,8$)	0,85	0,85	0,85	0,76	0,62	0,44	0,43	0,31	0,32	0,23

Na Tabela 4.2 são apresentados os valores máximos para o coeficiente de sombreamento em função da razão entre áreas janela/parede, para as orientações norte e leste e absortividades da parede de 0,3 e 0,8.

Tabela 4.2: Valores de Coeficiente de Sombreamento da Abertura em Função de WWR , da Absortividade das Paredes e da Orientação da Fachada Principal em Relação ao Caso Base

Orientação	WWR							
	0,3		0,5		0,7		0,85	
	N	L	N	L	N	L	N	L
Valor máximo de SC ($\alpha_w = 0,3$)	1,0	1,0	1,0	0,75	0,73	0,55	0,61	0,46
Valor máximo de SC ($\alpha_w = 0,8$)	1,0	0,82	0,71	0,55	0,55	0,43	0,47	0,38

Analisando os valores apresentados na Tabela 4.1 observa-se que quando o coeficiente de sombreamento é igual a 0,2 toda a área de parede da fachada principal pode ser ocupada pela janela. Quando o coeficiente de sombreamento for igual a 1,0 a razão entre áreas janela/parede deve ser 0,5 para a fachada norte e 0,37 para a fachada leste, para absortividade da parede igual a 0,3. Se a absortividade da parede é 0,8 , os valore de WWR para as fachadas norte e leste são 0,32 e 0,23 respectivamente.

A Tabela 4.2 mostra que quando a razão entre áreas janela/parede é 0,3 , para a fachada norte e absortividades de 0,3 e 0,8 , o coeficiente de sombreamento da abertura pode ser igual a 1,0. Para a fachada leste e absortividade 0,3 , SC pode ser igual a 1,0 e para absortividade 0,8 , SC pode ser igual a 0,82.

Para a janela de maior área (WWR = 0,85) e fachada norte, os coeficientes de sombreamento máximos foram 0,61 e 0,47 para absortividades iguais a 0,3 e 0,8 respectivamente. Quando muda-se a orientação da fachada principal para leste, os valores do coeficiente de sombreamento recomendados são menores, ou seja, 0,46 e 0,38 para absortividades iguais a 0,3 e 0,8 ,respectivamente.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

O uso de programas computacionais para simular o desempenho térmico e energético de edifícios permite analisar minuciosamente a influência de cada parâmetro relacionado com o edifício. Neste estudo foram tratados apenas os parâmetros ligados à envolvente do prédio.

Entre os parâmetros da envolvente do edifício analisados, alguns apresentaram maior destaque quanto à utilização de medidas que venham a reduzir o consumo de energia, enquanto que outros não foram tão significativos. Entre eles destacamos:

- O tamanho da janela, bem como o coeficiente de sombreamento da abertura, destacaram-se como os que apresentaram maior influência na variação do consumo de energia, chegando a 13%. Através da variação destes, foi possível determinar combinações que apresentavam o mesmo desempenho, quanto ao consumo de energia, se comparados com o caso base. Observou-se que a utilização de grandes vãos envidraçados não acarretam, necessariamente, em aumento no consumo de energia, desde que o coeficiente de sombreamento da abertura seja reduzido o suficiente para garantir ao sistema janela o mesmo desempenho energético.

- A absorvidade das paredes apresentou resultados significativos, para edifícios com área de janelas não superior a 50% da área de parede externa, indicando que pode-se alcançar uma economia no consumo de energia da ordem de 4,5% com a simples mudança na cor das superfícies externas das paredes, ou seja, variando de uma cor escura ($\alpha = 0,8$) para uma cor clara ($\alpha = 0,3$).

- A variação nos valores de transmitância térmica das paredes, através da colocação de camadas de isolantes térmicos, não apresentou variações significativas no consumo de energia, que justifiquem sua utilização como medida de redução deste. Para o edifício com razão entre áreas janela/parede igual a 0,5, observou-se variações da ordem de 0,5% para consumo de energia e em torno de 2,7% para as cargas térmicas de resfriamento.

- A transmitância térmica do telhado teve maior participação na variação do consumo de energia do que a transmitância térmica das paredes, embora a área de telhado fosse bem menor do que a área de paredes. Isso mostra que medidas conservativas relacionadas com o telhado são mais significativas em termos de consumo final de energia do que aquelas relacionadas com as paredes.

- Quanto a absorvidade do telhado, observou-se variações em torno de 1,3% no consumo de energia, quando esta foi variada de 0,3 para 0,8. As observações feitas no parágrafo anterior também são válidas neste caso. Destaca-se ainda que, a absorvidade pode ser variada através de medidas adotadas durante períodos de manutenção e limpeza do prédio,

sem acarretar custos adicionais.

É importante deixar claro que a análise energética conduzida neste estudo foi feita em cima de um modelo de edifício comercial que certamente pode influenciar nos resultados finais de consumo de energia. É claro que alterações podem ser feitas, tanto no modelo estudado, como nas variáveis analisadas, resultando em variações no valores obtidos. Mas o que se espera é que este tipo de análise envolvendo simulações paramétricas, possa ser útil para auxiliar os profissionais envolvidos com a área de projeto de edifícios, na tomada de decisões para a adoção de medidas conservativas, ainda na fase de projeto, ou então em etapas de reformas de edifícios que não apresentam um desempenho energético satisfatório.

O tipo de tabelas apresentadas permite realizar análises comparativas entre várias alternativas de projeto. Neste procedimento o caso base é adotado como um modelo de consumo padrão que se deseja para um edifício específico, ou para um determinado tipo de edifício. A partir da configuração do caso base, pode-se analisar as demais alternativas de projeto que apresentem consumo de energia similar, ou até inferior a este. Estas tabelas podem ser usadas como modelo para futuras normas de eficiência energética para edifícios comerciais a serem implantadas no Brasil.

Recomendações para trabalhos futuros

- Parâmetros relacionados ao sistema de ar condicionado e a densidade de carga interna (iluminação, equipamentos de escritório, ocupantes) merecem a dedicação de estudos futuros para analisar sua influência no consumo de energia de edifícios comerciais.

- Para edifícios com área de telhado equivalente à área construída (prédios térreos), medidas conservativas aplicadas junto ao telhado devem apresentar resultados significativos quanto a redução no consumo de energia.

- Um estudo da forma do edifício, levando-se em conta variações nos parâmetros geométricos de projeto, devem ser analisados a fim de verificar sua influência no consumo de energia.

- Os padrões de uso e ocupação do edifício, merecem também uma análise específica quanto à influência destes nas cargas térmicas de resfriamento e aquecimento e conseqüentemente no consumo total de energia do edifício.

- A metodologia de simulação adotada deve ser aplicada em outros tipos de edifícios comerciais como escolas, hospitais, hotéis, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. *Energy Conservation in New Building Design. ASHRAE Standard: 90-1975.*
American Society of Heating, refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta,
1975.

ASHRAE. *Energy Conservation in New Building Design. ASHRAE Standard: 90A-1980.*
American Society of Heating, refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta,
1980.

ASHRAE. *Energy Efficient Design of New Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.*
ASHRAE Standard: 90.1-1989. American Society of Heating, refrigeration and Air
Conditioning Engineers, Atlanta, 1989.

ASHRAE. *Energy Code for Commercial and High-Rise Residential Buildings.* American
Society of Heating, refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta, 1993.

ASHRAE. *Handbook Fundamentals.* American Society of Heating, Refrigerating and Air-
Conditioning Engineers, Atlanta, 1993.

BUSCH, J. F. *Energy and Economic Analysis of Energy conservation in Thai Commercial
Buildings.* In ASEAN-USAID Buildings Energy Conservation Project, Final report,
Volume II: Technology, 1992.

DERINGER, J. J.; BUSCH, J. F. *ASEAN USAID - Buildings Energy Conservation
Project - Final Report.* Volume I: Energy Standards, 1992.

ELEY, C.; KENNEDY, J. *Commercial Building Code Development in Australia.* ACEEE,
Summer Study, Austrália, 1994.

GÓMEZ, L. A.; LAMBERTS, R. *Simulação da Influência de Algumas Variáveis
Arquitetônicas no Consumo de Energia em Edifícios.* Departamento de Engenharia Civil,
UFSC, Florianópolis, 1995.

- GOULART, S. V. G.** *Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, setembro/1993.
- LBL 1981.** *DOE-2 Reference Manual (Version 2.1A)*. Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 1981.
- LBL 1989.** *DOE-2 Reference Manual (Version 2.1D)*. Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, 1989.
- LBL 1993.** *DOE-2 Supplement (Version 2.1E)*. Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, November/1993.
- LAM, J. C.; HUI, S. C. M.** *Computer Simulation of Energy Performance of Commercial Buildings in Hong Kong*. In: Proceedings of the Building Simulation 93 Conference, Australia, 1993, pp 124-135.
- LAMBERTS, R.; GÓMEZ, L. A.; SIGNOR, R.** *Comparação de Resultados de Simulação com o Consumo Energético Medido num edifício de Escritórios*. Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 1994.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA.** *Balanço Energético Nacional - 1993*. Brasília, 1993.
- NBR 6401.** *Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto - Parâmetros Básicos de Projeto*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Dezembro/1980.
- PRESTON, J. R. & PARTNERS.** *Final Report on the Feasibility Study on Introduction of Overall Thermal Transfer Value (OTTV) to Air Conditioned Buildings in Hong Kong*. Volume I, Hong Kong, Agosto/1991.

PROCEL. *Manual de Conservação de Energia Elétrica - Prédios Públicos e Comerciais.* 2ª

Edição. Programa Nacional de Conservação de Energia, Rio de Janeiro, 1991.

TOLEDO, L. M. A. *Uso de Energia Elétrica em Edifícios Públicos e Comerciais de*

Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil,

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, maio/1995

WINKELMANN, F. C.; BIRDSALL, B. E.; BUHL, W. F.; ELLINGTON, K. L.;

ERDEM, A. E. *DOE-2 BDL SUMMARY (Version 2.1E).* Lawrence Berkeley

Laboratory, Berkeley, 1991.